

RAPPORT

Life Cycle Analysis

Verwerking productiewater Schoonebeek

Klant: NAM B.V.

Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Definitief/00

Datum: 17-1-2023

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Life Cycle Analysis

Sub titel: Verwerking productiewater Schoonebeek
Referentie: BF5299-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001
Status: 00/Definitief
Datum: 17-1-2023
Projectnaam: Oliewinning Schoonebeek
Projectnummer: BF5299

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Inhoud

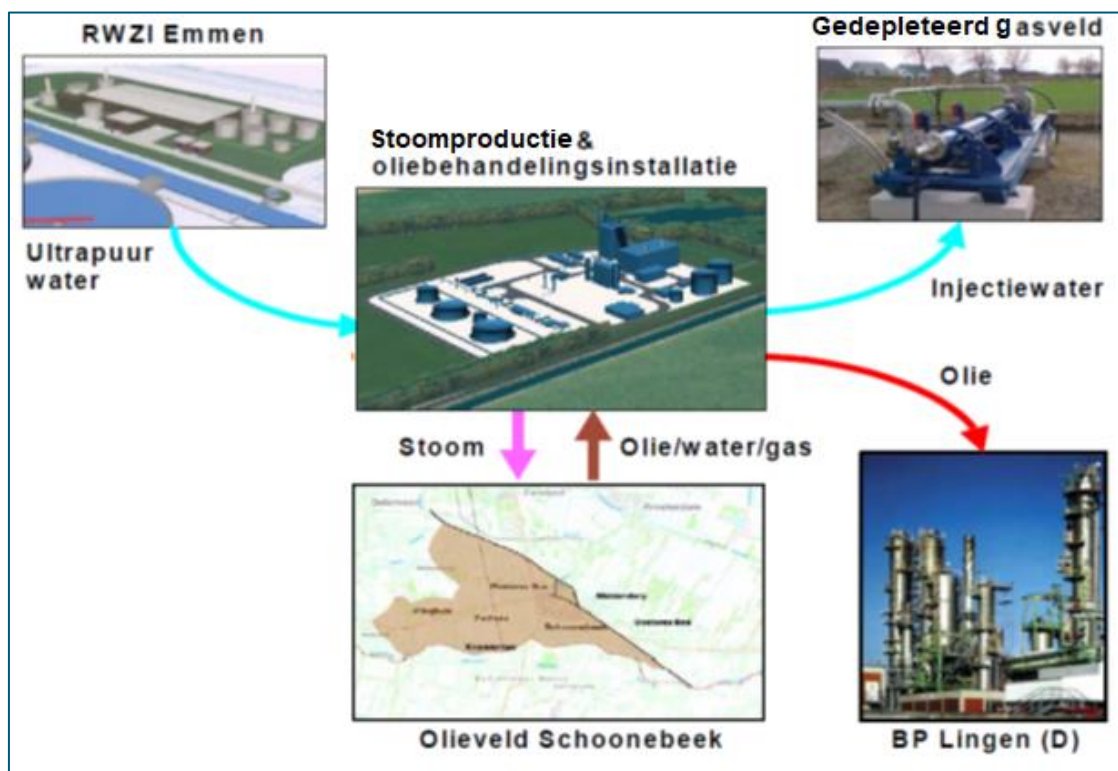
| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Inleiding | 4 |
| 1.1 | Oliewinning en vorming van productiewater | 4 |
| 1.2 | Verwerkingsalternatieven | 5 |
| 1.3 | Reden voor de LCA | 6 |
| 2 | Methodologische uitgangspunten | 7 |
| 2.1 | Doel van het onderzoek | 7 |
| 2.2 | Afbakening | 7 |
| 2.3 | Beschouwde milieuthema's en weegfactoren | 8 |
| 2.4 | Waterkwaliteit productiewater | 9 |
| 2.5 | Functionele eenheid en tijdshorizon | 11 |
| 2.6 | Eindberging van restproducten | 13 |
| 2.7 | Gebruikte hulpstoffen en energiedragers en bijbehorende achtergrondprocessen | 13 |
| 3 | Beschrijving alternatieven en inventarisatie van milieu-ingrepen | 14 |
| 3.1 | Alternatief 1: Volledig verwerking tot zoet water en vast zout | 14 |
| 3.1.1 | Beschrijving | 14 |
| 3.1.2 | Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen | 18 |
| 3.1.3 | Verschillen met de analyse in 2016 | 18 |
| 3.2 | Alternatief 2b: Indikken van de waterstroom en brijninjectie | 20 |
| 3.2.1 | Beschrijving | 20 |
| 3.2.2 | Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen | 23 |
| 3.3 | Alternatief 2a: Indikken van de waterstroom en brijninjectie in de Oost aquifer | 23 |
| 3.3.1 | Beschrijving | 23 |
| 3.3.2 | Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen | 25 |
| 3.4 | Alternatief 3: Injectie in Schoonebeek gasveld | 28 |
| 3.4.1 | Beschrijving | 28 |
| 4 | Vergelijking van alternatieven | 29 |
| 4.1 | Alternatief "Vast Zout" versus Alternatief volledige waterinjectie | 29 |
| 4.2 | Alternatief "Indikken van de waterstroom en brijninjectie in Schoonebeek gasveld" versus Alternatief waterinjectie | 30 |
| 4.3 | Alternatief "Indikken van de waterstroom en brijninjectie in de Oost aquifer" versus Alternatief waterinjectie | 31 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Bronnen | 35 |
| | Bijlage A Stoomproductie | 1 |
| | Bijlage B Elektriciteit en milieubelasting | 3 |
| | Bijlage C Bulkchemicaliën en mijnbouwhulpstoffen | 5 |
| C.1 | Bulkchemicaliën | 5 |
| C.2 | Mijnbouwhulpstoffen | 5 |
| | Bijlage D Storten van vaste reststoffen | 7 |

1 Inleiding

1.1 Oliewinning en vorming van productiewater

Het olieveld Schoonebeek is sinds januari 2011 weer in productie dankzij nieuwe technieken – horizontale winningsputten in combinatie met stoominjectie. De stoominjectie is bedoeld om de zware, stroperige en moeilijk verpompbare olie in het Schoonebeek olieveld te verwarmen en vloeibaarder te maken, zodat het naar de boorputten kan stromen en kan worden opgepompt. Ketelvoedingswater voor stoomproductie wordt door NWTR (puur water fabriek) in Emmen geproduceerd door verdere zuivering van effluent van RWZI-Emmen.



Figuur 1-1 De verschillende onderdelen van het oliewinning complex in Schoonebeek en omgeving

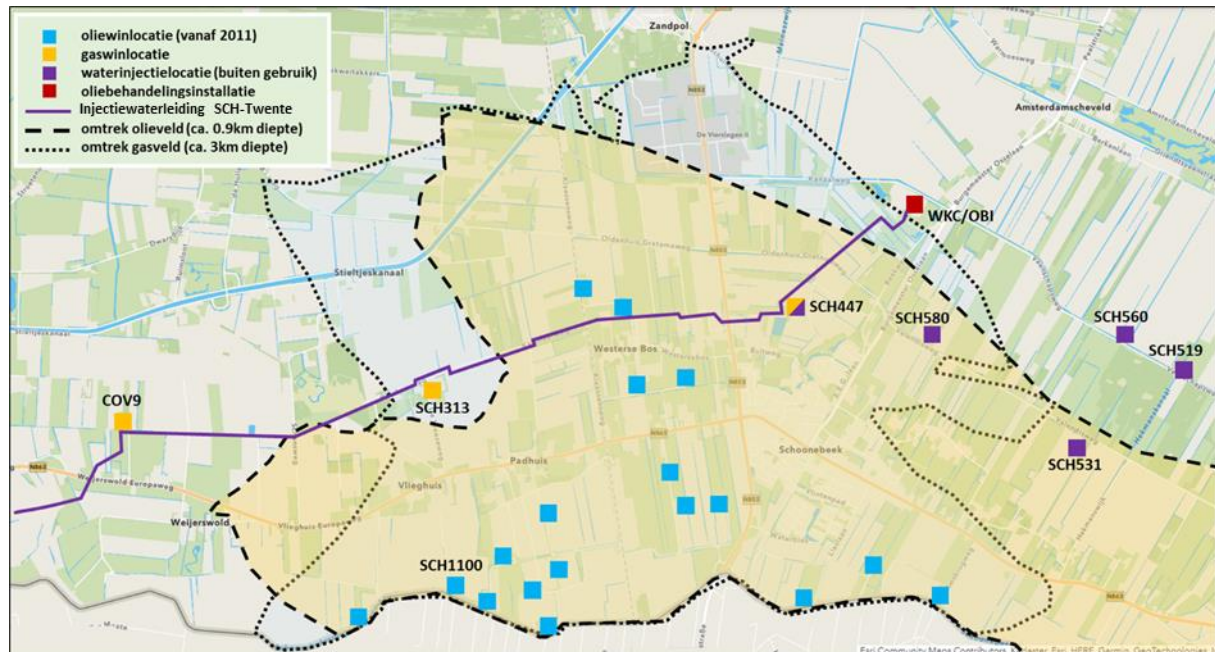
Bij de oliewinning wordt de geïnjecteerde stoom deels als condensaat weer mee geproduceerd met de aardolie. Daarnaast wordt formatiewater, dat van nature in het olieveld aanwezig is, mee opgepompt met de aardolie. Met de olie komt ook een kleine hoeveelheid H_2S bevattend geassocieerd aardgas (secundair gas) mee omhoog.

In de Olie Behandelings Installatie (OBI) worden secundair gas, olie en water vergaand van elkaar gescheiden. De afgescheiden olie wordt nabehandeld met azijnzuur en waswater, gedroogd en naar de BP raffinaderij in Lingen verpompt.

Het mengsel van condensaat, formatiewater en waswater wordt productiewater genoemd. Het productiewater bevat van nature in het olieveld aanwezige zouten en metalen en bevat verder uit de ondergrond afkomstige resten olie en opgeloste gassen (waaronder zwavelwaterstof, H_2S).

Daarnaast bevat het toegevoegde mijnbouwhulpstoffen, met name anti-corrosievloeistof en H₂S-binder, bedoeld om schade aan installaties en risico's voor bedienend personeel te minimaliseren. De concentratie in productiewater van deze hulpstoffen is maximaal enkele tientallen mg/l.

Vanwege de aanwezigheid van zouten en andere milieubelastende stoffen moet het productiewater worden verwijderd door zuivering en/of herinjectie in de diepe ondergrond.



Figuur 1-2. Schoonebeek gasveld en olievelde met de bestaande winlocaties, injectiewaterleiding en oliebehandelingsinstallatie (OBI)

1.2 Verwerkingsalternatieven

Alternatieven voor verwerking productiewater

In het Onderzoek Oliewinning Schoonebeek zijn alternatieven van verwerking van het productiewater onderzocht. De beschouwde alternatieven zijn:

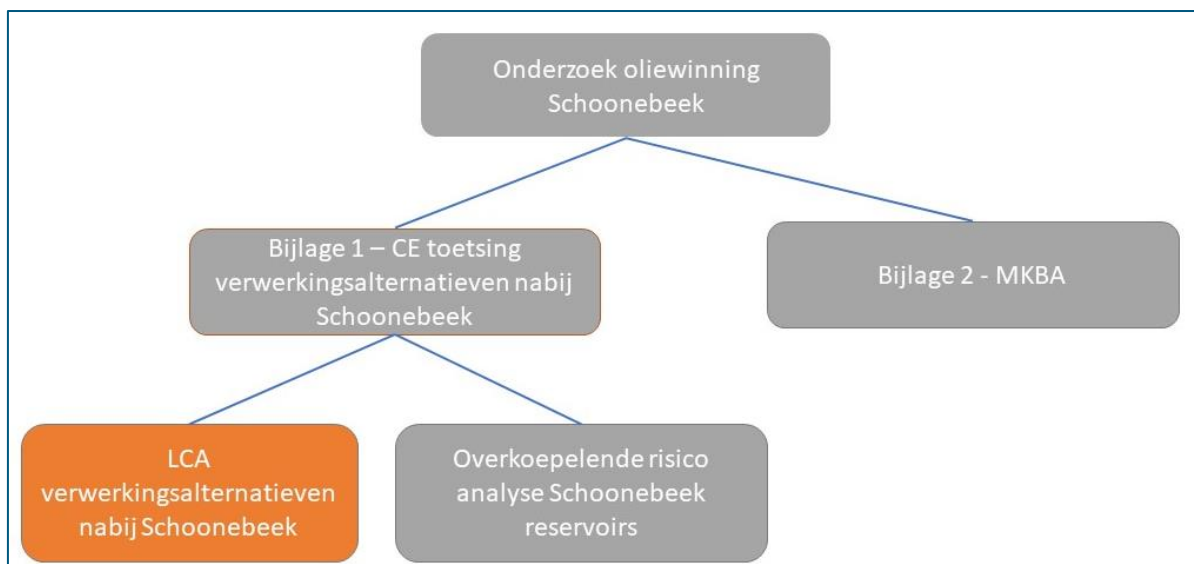
- Volledig zuiveren tot zoet water en vast zout:
Na verwijdering van olieresten wordt zout als een te storten vaste residu afgescheiden door het productiewater compleet in te dampen met mechanische dampcompressie en kristallisatie met stoom. De damp wordt gecondenseerd, nabehandeld en als schoon water op het oppervlaktewater geloosd.
- Indikken van de waterstroom:
Na verwijdering van olieresten en gedeeltelijke ontharding worden zout en andere milieubelastende stoffen door filtratie en omgekeerde osmose geconcentreerd in een brijn. Gereinigd zoet water (permeaat) wordt teruggeleverd aan NWTR, opgewerkt tot 'ultra-puur' water en als ketelvoedingswater weer teruggeleverd aan NAM voor stoomproductie. Eventuele overschotten aan gereinigd permeaat worden op oppervlaktewater geloosd. De brijn wordt in het Schoonebeek aardgasveld (Alternatief 2b) en eventueel in een op het olievelde aansluitende aquifer – Oost aquifer – geïnjecteerd (Alternatief 2a).

In dit alternatief is aangenomen dat door teruggewonnen zoet water vervangen RWZI-effluent zal worden geloosd op de Verlengde Hoogeveense Vaart¹.

- Volledige waterinjectie:
Het productiewater wordt in dit alternatief zonder verdere behandeling geïnjecteerd in het Schoonebeek gasveld, een vrijwel leeg geproduceerd aardgasveld in de directe omgeving van de OBI. Het is de bedoeling het productiewater te injecteren via nieuwe putten, die zullen worden gerealiseerd op bestaande gaswinningslocaties. De kaart in Figuur 1-2 geeft het Schoonebeek gasveld met de bestaande winlocaties, OBI en injectiewaterleiding weer.

1.3 Reden voor de LCA

Het voornemen voor injectie wordt op verzoek van de lokale en regionale overheden getoetst aan de hand van de CE-afwegingsmethodiek. Daarbij worden de alternatieve verwerkingsroutes vergeleken en gewaardeerd. Onderdeel van de CE-toetsing is een Life Cycle Analysis (LCA) waarin de mogelijke alternatieven worden vergeleken op basis van milieubelasting in de biosfeer. De LCA maakt onderdeel uit van de CE toetsing van alternatieven voor de verwerking van productie van de oliewinning Schoonebeek.



Figuur 1-3. Overzicht gerelateerde onderzoeken

In deze rapportage zijn uitvoering van en resultaten van de LCA beschreven. Daarbij is de gestandaardiseerde structuur voor rapportage aangehouden. Hierbij zijn zoveel mogelijk dezelfde gegevens gebruikt als bij de MKBA (CE Delft, 2022, MKBA oliewinning Schoonebeek). In hoofdstuk 2 worden de methodologische uitgangspunten beschreven. Een gedetailleerdere beschrijving van de verschillende verwerkingsroutes is opgenomen in hoofdstuk 3. De vergelijking van alternatieven vindt plaats in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 geeft de gebruikte bronnen weer.

Er zijn vier bijlagen, met nadere toelichting over de stoomproductie, elektriciteit en milieubelasting, bulkchemicaliën en mijnbouw hulpstoffen en over het storten van vaste reststoffen.

¹ Zie bijvoorbeeld: <https://watersector.nl/rwzi/284/rwzi>

2 Methodologische uitgangspunten

2.1 Doel van het onderzoek

Het doel van deze LCA is om verschillende verwerkingsroutes voor productiewater van oliewinning bij Schoonebeek te vergelijken qua directe en indirecte milieubelasting.

De LCA-resultaten zullen door maatschappelijke factoren samen met scores op andere onderwerpen (risico's, kosten) worden gebruikt om de verschillende geselecteerde alternatieve verwerkingsroutes te vergelijken en te rangschikken en een voorkeursalternatief te selecteren. Op basis van de kwantitatieve inzichten is aan te geven in hoeverre injectie van de reststromen in de Drentse diepe ondergrond vanuit milieuoogpunt doelmatig is in vergelijking met genoemde alternatieve bovengrondse verwerkingswijzen.

De LCA is conform de opzet van de afwegingsmethodiek uitgevoerd volgens de in het LAP² (inmiddels LAP 3) voorgeschreven methodiek³.

2.2 Afbakening

In overeenstemming met het LAP is de volgende afbakening aangehouden:

- Startpunt van de analyse is het moment waarop het productiewater als een afvalstroom vrijkomt bij behandeling van het olie/water mengsel in de OBI.
- Eindpunt van de analyse is een situatie waarin het productiewater volledig is omgezet in herbruikbare producten, geloosd water en in eindberging (stort, ondergrond) ondergebrachte reststromen.

De LCA heeft geen betrekking op winning en opwerking van aardolie. Productiewater is een afvalstroom, die onvermijdelijk vrijkomt bij oliewinning uit het Schoonebeek olieveld, ongeacht de verdere verwerking van deze reststroom. De verwerkingswijze heeft geen directe invloed op de procesvoering bij oliewinning. Vanwege de aangehouden afbakening wordt ook eventuele inzet van H₂S-binder en emulsiebreker buiten beschouwing gelaten. Deze chemicaliën worden – wanneer toegepast – op de productieputten of bij de OBI toegevoegd en zijn daardoor voor alle alternatieven op gelijke wijze van belang.

Ook de aanleg van de nodige infrastructuur en behandelingsinstallaties is niet meegenomen. Zoals ook aangegeven in het LAP zal productie van dergelijke goederen de vergelijking van milieubelasting tussen alternatieven niet significant beïnvloeden.

In de LCA is productie van ultra-puur water op basis van RWZI-effluent of permeaat (schoon zoet water) van het alternatief 'Indikken' buiten beschouwing gelaten.

In de huidige situatie wordt effluent vanuit de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Emmen bij de ultra-puur waterfabriek gezuiverd en geschikt gemaakt voor gebruik als ketelvoedingswater. Het Alternatief 'Indikken van de waterstroom en brijninjectie' is erop gericht productiewater te ontzilten met omgekeerde osmose en op die manier geschikt te maken als grondstof voor de ultra-puur waterfabriek.

In de LCA wordt geen onderscheid gemaakt of effluent of ontzilt productiewater wordt opgewekt tot ultrapuur water.

² LAP = Landelijk AfvalbeheerPlan

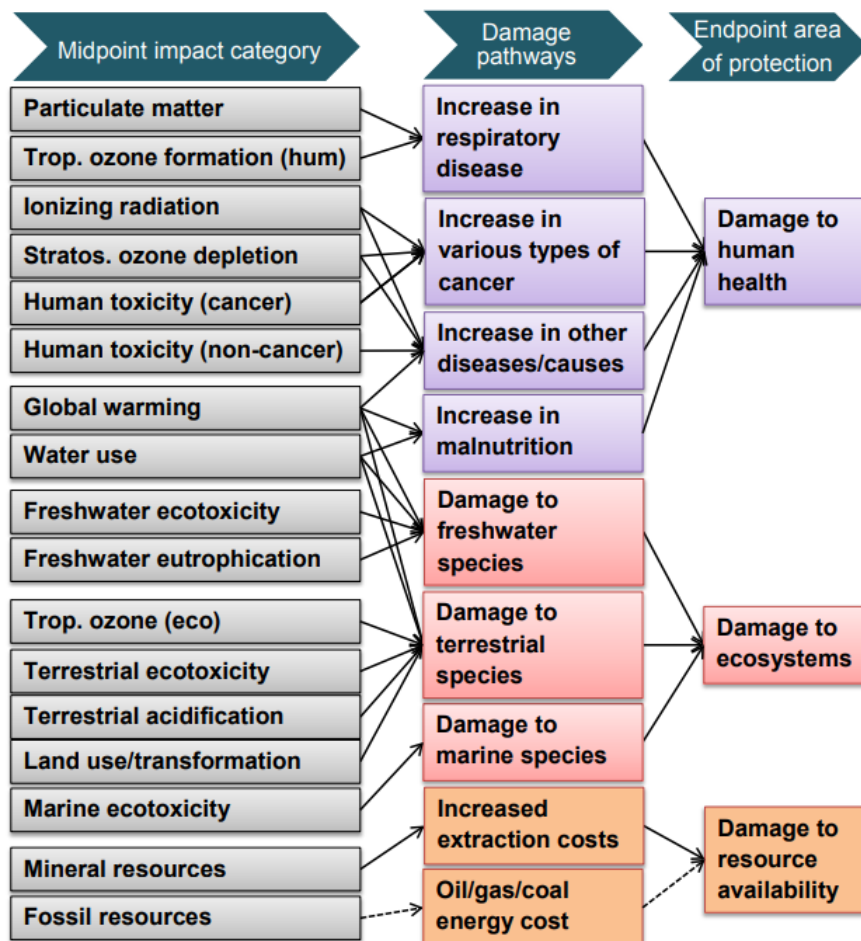
³ Zie ook https://lap3.nl/publish/pages/121785/lap3_f09_lcas_02-03-2021.pdf

2.3 Beschouwde milieuthema's en weegfactoren

Van alle verwerkingsmogelijkheden is een zo kwantitatief mogelijke schatting van de milieubelasting gemaakt. Voor inschatten van de milieubelasting zijn beschouwd:

- Procesemissies naar water, lucht en bodem;
- Verbruiken van water, hulpstoffen en energiedragers;
- De aan productie van de geconsumeerde hulpstoffen en energiedragers gerelateerde emissies;
- Productie van te storten reststoffen en eventuele emissies naar het milieu vanuit de stort.

De emissies zijn in overeenstemming met het LAP met de ReCiPe methodiek vertaald naar bijdragen aan milieuthema's en naar schade aan menselijke gezondheid en aan ecosystemen.



Figuur 2-1 Overzicht van de effectcategorieën die in de ReCiPe2016-methodologie en hun relatie tot beschouwde schadecategorieën.

Voor omrekenen van emissies en andere vormen van milieubelasting naar bijdragen aan milieuthema's (midpoint) en resulterende schade (endpoint) is uitgegaan van één van de drie culturele perspectieven op milieuschade en duurzaamheid uit de ReCiPe methodiek, het zogenaamde hiërarchische perspectief⁴, dat ook in het LAP wordt gebruikt.

⁴ Het hiërarchische perspectief is gebaseerd op wetenschappelijke consensus over het tijdsbestek en de plausibiliteit van impactmechanismen. Zie voor meer uitleg: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf>.

Als er op basis van de bijdragen aan midpoints en endpoints geen duidelijke conclusies kunnen worden getrokken over welke verwerkingsroutes de meeste of minste milieubelasting oplevert, of als de rangschikking onduidelijk blijft, dan kan de gewogen Single Score gebruikt worden. De resultaten moeten dan worden berekend voor vier in het LAP voorgeschreven weegsets om te zien of dit nog andere inzichten geeft. Conclusies kunnen alleen getrokken worden als de resultaten duidelijk verschillen en alle weegsets hetzelfde beeld geven.

Tabel 2-1 Perspectieven in de ReCiPe-methode en de bijbehorende sets van weegfactoren

| Perspectief | Tijdshorizon CO ₂ -effecten | Weegfactoren voor endpoints | | |
|-------------------------|---|-----------------------------|------------|-------------------|
| | | Menselijke gezondheid | Ecosysteem | Eindige voorraden |
| Individualist (I/I) | 20 | 55 | 25 | 20 |
| Hierarchist (H/H) | 100 | 30 | 40 | 30 |
| Egalitarian (E/E) | 500 | 30 | 50 | 20 |
| Gemiddelde weegfactoren | | 40 | 40 | 20 |

Bron: zie https://lap3.nl/publish/pages/121785/lap3_f09_lcas_02-03-2021.pdf

2.4 Waterkwaliteit productiewater

De samenstelling van het productiewater fluctueert in de loop van de tijd. In de loop van de tijd neemt de hoeveelheid condenswater in het productiewater toe, naarmate er meer stoominjectie heeft plaatsgevonden en het condenswater naar de productieput wordt gezogen. Onder andere door de toename van de deelstroom condenswater, verandert de samenstelling van het productiewater in de loop van de jaren. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de afname van het zoutgehalte en in de stijging van andere stoffen. Tabel 2-2 geeft een overzicht van de samenstelling van het productiewater. Hierin is de verwachte waarde gepresenteerd, de gemeten waarde in 2015 en in 2020.

Tabel 2-2. Overzicht samenstelling productiewater

| Parameter | Eenheid | Verwachte maximale waarde (vergunning 2010) | Gemiddelde gemeten waarde | |
|--|---------|---|---------------------------|--------|
| | | | 2015 | 2020 |
| pH (eenheden) | - | 4 – 9 | 6,5 | 5,9 |
| Temperatuur | °C | 50 | 33 | 34 |
| Total Dissolved Solids | mg/l | 200.000 | 44.000 | 28.300 |
| Total Suspended Solids | mg/l | 100 | 37 | 29 |
| Natrium (Na ⁺) | mg/l | 40.000 | 12.000 | 8.100 |
| Magnesium (Mg ²⁺) | mg/l | 2.500 | 420 | 280 |
| Barium (Ba ²⁺) | mg/l | 250 | 19 | 12 |
| Arseen (As) | mg/l | 0,025 | 0,01 | <0,01 |
| Kwik (Hg) | mg/l | 0,005 | <0,0001 | <0,001 |
| Zwavelwaterstof (H ₂ S) ¹ | mg/l | 15 | 1,4 | 5 |
| IJzer (totaal Fe ²⁺ en Fe ³⁺) | mg/l | 50 | 7,9 | 10 |
| Kalium (K ⁺) | mg/l | 1.000 | 120 | 120 |

| | | | | |
|--|------|--------|------------------|------------------|
| Strontium (Sr ²⁺) | mg/l | 2500 | 250 | 180 |
| Chloride (Cl ⁻) | mg/l | 90.000 | 23.000 | 16.000 |
| Sulfaat (SO ₄ ²⁻) | mg/l | 50 | <19 | <10 |
| Bicarbonaat (HCO ₃ ⁻) | mg/l | 1000 | 710 | 210 |
| Koolstofdioxide (CO ₂) | mg/l | 500 | 595 ³ | 410 |
| Zuurstof (O ₂) | mg/l | 0,05 | <0,01 | <0,01 |
| Olie en vetten | mg/l | 100 | 13 | 22 |
| Cadmium (Cd) | mg/l | 0,25 | <0,001 | <0,001 |
| Koper (Cu) | mg/l | 1 | <0,001 | <0,01 |
| Monoethylene Glycol (MEG) | mg/l | 750 | <200 | <100 |
| Diethylene Glycol (DEG) | mg/l | 750 | <200 | <100 |
| Triethylene Glycol (TEG) | mg/l | 750 | <200 | <100 |
| Ethylbenzeen (C ₈ H ₁₀) | mg/l | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| Tolueen (C ₆ H ₅ CH ₃) | mg/l | 1 | 1,2 ³ | 1,1 ³ |
| Chroom (Cr) | mg/l | 0,25 | <0,005 | <0,005 |
| Benzeen (C ₆ H ₆) | mg/l | 5 | 1,5 | 1,3 |
| Lood (Pb) | mg/l | 2 | <0,01 | <0,01 |
| Nikkel (Ni) | mg/l | 0,5 | <0,01 | <0,01 |
| Zink (Zn) | mg/l | 7,5 | 0,02 | <0,02 |
| Calcium (Ca ²⁺) | mg/l | 8.000 | 2.000 | 1.400 |
| Xylenen (C ₆ H ₄ C ₂ H ₆) | mg/l | 1 | 0,5 | 0,56 |
| Mijnbouw hulpstoffen: | | | | |
| Zwavelwaterstofbinder ² | mg/l | 120 | 13,8 | 90 |
| Emulsiebreker ² | mg/l | 21 | 0,050 | 1,08 |
| Anti-corrosievloeistof ² | mg/l | 200 | 65,6 | 53 |
| Biocide ² | mg/l | 2,4 | 1,9 | 2,2 |

¹ Gemeten sulfide gehalte omgerekend naar H₂S.

² Concentraties van mijnbouw hulpstoffen zijn berekend op basis van verdeling coëfficiënten tussen olie en water

³ Gemeten concentratie overschrijdt de maximaal verwachte waarde

2.5 Functionele eenheid en tijdshorizon

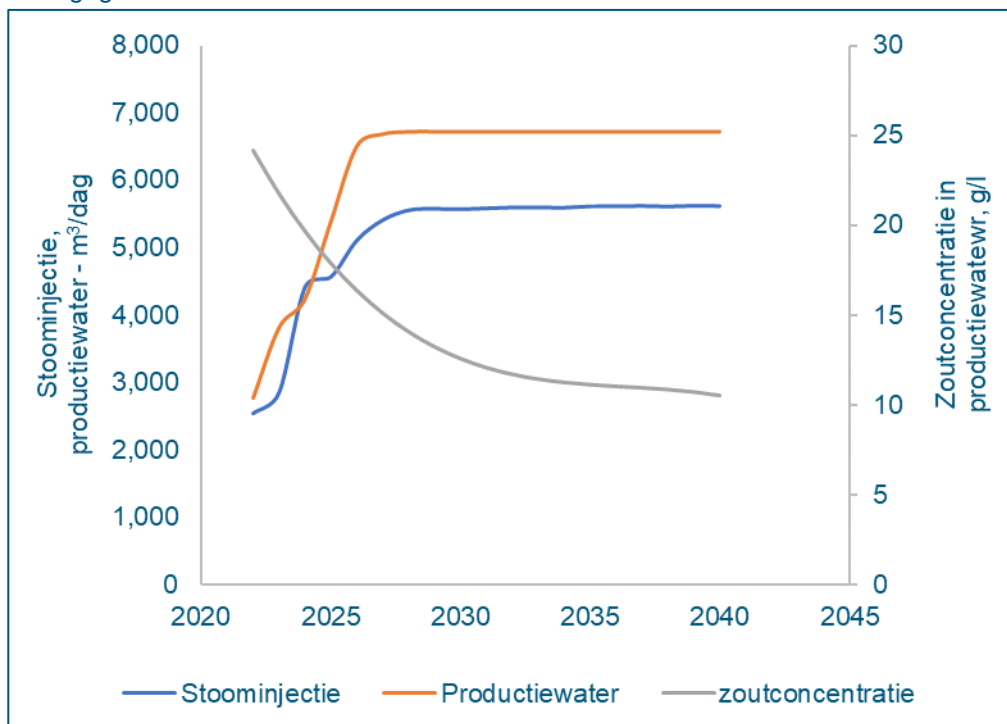
De in deze LCA beschouwde functionele eenheid is in overeenstemming met de in het LAP gehanteerde methodiek 1 m³ productiewater, zoals dat vrijkomt op de OBI.

De milieubelasting voor productiewater verwijdering zal gedurende de exploitatie verschuiven. Het volume⁵ en de samenstelling van het productiewater zullen naar verwachting gedurende de exploitatie variëren als functie van olieproductie en totale geïnjecteerde hoeveelheid stoom, zoals aangegeven in Figuur. Hierdoor verandert voor de alternatieve verwijderingsroutes (Vast Zout, Indikking) ook de milieubelasting per m³ productiewater.

Er zullen daarnaast volgens informatie van NAM ook maatregelen worden genomen waardoor milieubelasting gerelateerd aan olieproductie – en verwerking van productiewater – in de loop van de tijd afnemen. Dit betreft met name:

- Uitsluitend gebruik van corrosieresistente buisleidingen voor de afvoer van het productiewater, waardoor geen anti-corrosiemiddel hoeft te worden gebruikt. Deze mijnbouwhulpstof komt daardoor ook niet in vast zout of diepe ondergrond terecht.
- Het ongeveer 4 jaar na begin van de oliewinning deels overschakelen van aardgas naar elektriciteit voor stoomproductie (aanneمة op basis van informatie gedeeld door NAM). Stoom wordt in Alternatief Vast Zout gebruikt voor verwijdering van productiewater.

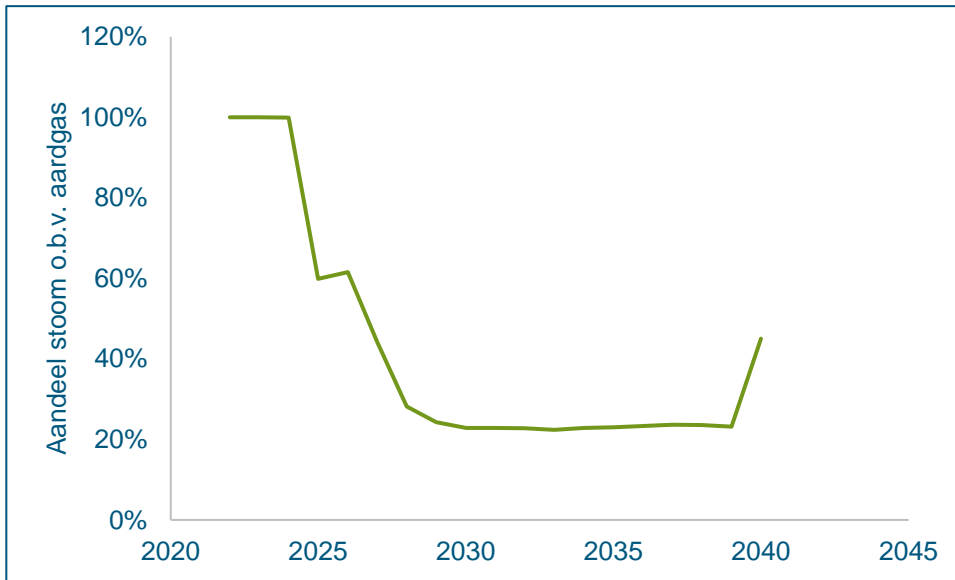
Voor gegevens over concentraties van zouten en andere stoffen wordt verwezen naar tabel 2-2.



Figuur 2-2. Verloop van zoutconcentratie in en volume aan productiewater gedurende de exploitatie van het Schoonebeek olieveld.

⁵ Het volume is een functie van de geproduceerde hoeveelheid olie en zal na een opstartfase – hier in 2022, net als in de MKBA – stabiel blijven. Het zoutgehalte neemt af doordat het in het olieveld aanwezige formatiewater steeds meer wordt verdund met bij stoominjectie achterblijvend condensaat.

De figuur illustreert welk deel van de stoom wordt geproduceerd op basis van windenergie. Voor het overige deel (20% - 40%) – wanneer geen of minder windenergie beschikbaar is - zal voor injectie stoom geproduceerd op basis van aardgas worden ingezet. Voor andere processen en apparaten, zoals pompen, wordt grijze stroom vanaf het elektriciteitsnet ingekocht.



Figuur 2-3. Verschuiving van stoomproductie op basis van aardgas naar stoomproductie op basis van hernieuwbare elektriciteit

De keuze van de beschouwde tijdstermijn van 2022 – 2040 heeft ook op een andere manier een zekere invloed op de resultaten van de LCA. Bij behandeling en injectie van productiewater worden vanaf het openbare elektriciteitsnet ingekochte elektriciteit en diverse bulkchemicaliën en mijnbouw hulpstoffen geconsumeerd. Door vastgesteld en voorgenomen overheidsbeleid en door maatregelen bij bedrijven zal milieubelasting gerelateerd aan de productie van de geconsumeerde elektriciteit en chemicaliën in de komende jaren afnemen. Als voorbeeld: afgezien van de stoomproductie gebruiken de operaties in Schoonebeek zo'n 5 MW⁶ aan elektriciteit voor onder ander de Long Stroke Units (de "ja-knikkers"). Deze elektriciteit wordt gevoed vanuit het normale stroomnetwerk. De milieubelasting per eenheid via het openbare elektriciteitsnet ingekochte grijze elektriciteit zal in de loop van de tijd afnemen door sluiting per 2030 van de nog operationele "kolencentrales".

Om het effect van veranderingen in productiewaterkwaliteit en te implementeren milieubelasting reducerende maatregelen te laten zien is de LCA uitgevoerd voor een drietal jaren waarin deze aspecten sterk van elkaar verschillen:

- Voor 2024
Opstartfase, alle stoom wordt nog geproduceerd op basis van aardgas, de zoutconcentratie in het productiewater is vrijwel maximaal
- Voor 2028
Olieproductie – en vrijkomende hoeveelheid productiewater – zijn op beoogd niveau, stoomproductie is deels gebaseerd op hernieuwbare elektriciteit, ingekochte grijze elektriciteit is nog deels "kolenstroom".
- Voor 2033
Olieproductie – en vrijkomende hoeveelheid productiewater – zijn op beoogd niveau, stoomproductie is grotendeels gebaseerd op basis van hernieuwbare elektriciteit, ingekochte grijze elektriciteit wordt geproduceerd op basis van aardgas.

⁶ Ter referentie, voor het opwekken van 3000 ton stoom per dag is zo'n 100 MW benodigd.

Praktisch gezien zijn de alternatieven niet beschikbaar in 2023, maar wellicht pas vier jaar later.

2.6 Eindberging van restproducten

In beide alternatieve verwijderingsroutes voor productiewater komen reststoffen vrij, waarvan wordt aangenomen dat ze moeten worden gestort. Het betreft door indampen en kristallisatie geïsoleerde zouten (Alternatief 'Volledige verwerking tot zoet water en vast zout') of bij gedeeltelijke ontharding ontstane zoutneerslag (Alternatief 'Indikken van de waterstroom en brijinjectie') met daarin metalen en andere verontreinigingen. De reststoffen worden op een vergelijkbare wijze geproduceerd en hebben kenmerken vergelijkbaar met rookgasreinigingsresidu (RGRr) van afvalverbrandingsinstallaties (AVI's). Net als RGRr bestaat het materiaal voornamelijk uit zouten met kleinere hoeveelheden zware metalen.

Gezien de (veronderstelde) overeenkomsten is in deze studie aangenomen dat de residuen op eenzelfde manier wordt verwerkt als RGRr. In de praktijk zijn er diverse, per AVI, verschillende routes voor verwijdering van RGRr in gebruik:

- Versatzbau, het in oude mijngangen 'storten' of 'nuttig hergebruiken' van het residu om verzakking te voorkomen;
- Stort in big bags in een C3 component van een stortplaats.

In deze studie is gekozen om de laatste optie te beschouwen omdat deze studie wordt verricht in het kader van de vraag of opslag van niet daaruit afkomstige stoffen in de diepe ondergrond acceptabel is. Het lijkt minder logisch om aan te nemen dat het wel acceptabel is een bij bovengrondse verwerking of waterproductie vrijkomende reststroom vlak over de grens alsnog in de diepe ondergrond op te slaan.

In Bijlage A wordt een beschrijving gegeven van de in deze LCA beschouwde wijze van storten.

2.7 Gebruikte hulpstoffen en energiedragers en bijbehorende achtergrondprocessen

Voor de achtergrondprocessen - de productie van de in de alternatieve verwijderingsroutes geconsumeerde chemicaliën en energiedragers en de gerelateerde milieubelasting – is in overeenstemming met LAP gebruik gemaakt van de proceskaarten uit de meest recente versie van de Ecoinvent database die bij RHDHV beschikbaar is (versie 3.8). Er is standaard uitgegaan van het system-model 'Cut-Off System Model'. Proceskaarten voor gebruikte mijnbouwhulpstoffen zijn niet beschikbaar. De specifieke milieubelasting per eenheid mijnbouwhulpstof is geschat aan de hand van de milieubelasting gerelateerd aan de productie van de grondstoffen.

Voor milieubelasting per eenheid ingekochte grijze elektriciteit is voor de periode 2022 – 2040 per zichtjaar een schatting gemaakt vanwege de sterke verandering in de aangeboden mix en de gerelateerde milieubelasting (zie Bijlage A).

3 Beschrijving alternatieven en inventarisatie van milieu-ingrepen

De in deze beknopte LCA beschouwde en vergeleken alternatieve verwijderingsroutes worden in onderstaande paragrafen kort beschreven. Ook wordt een onderbouwde inventarisatie gegeven van procesemissies, transporten en consumptie van chemicaliën en energie.

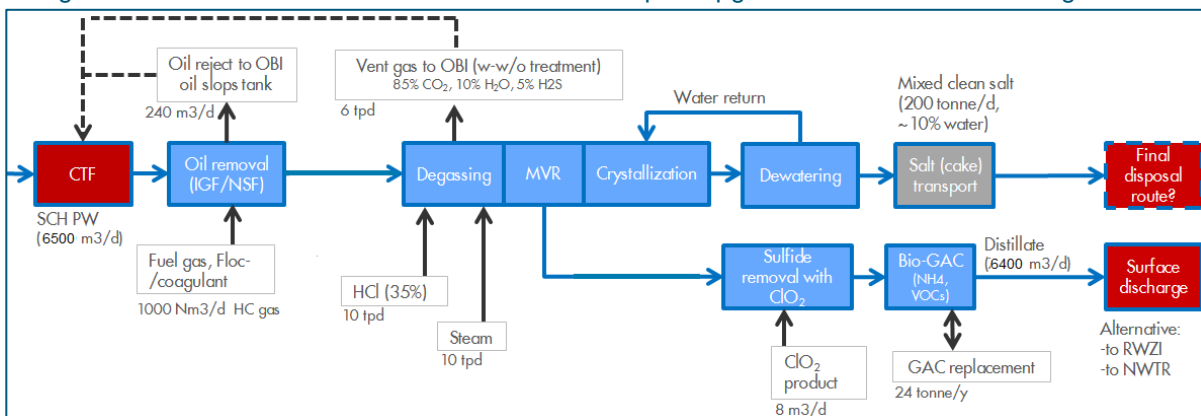
Voor alle alternatieven wordt er van uitgegaan dat er dagelijks 6.500 m³ water beschikbaar komt bij de OBI. In de praktijk zal dit kunnen fluctueren, maar voor de vergelijking van alternatieven is dit als maatgevend aangehouden.

3.1 Alternatief 1: Volledig verwerking tot zoet water en vast zout

In dit alternatief wordt zout uit productiewater als een te storten vaste residu afgescheiden door - na verwijdering van olieresten en opgeloste gassen - het productiewater compleet in te dampen met mechanische damprecompressie en kristallisatie met stoom. De damp wordt gecondenseerd, nabehandeld en als schoon water op het oppervlaktewater geloosd.

3.1.1 Beschrijving

Een globaal stroomschema van het alternatieve concept is opgenomen in onderstaande figuur.



Figuur 3-1. Vereenvoudigd stroomschema voor Alternatief 1

Tabel 3-1 Ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie bij waterinjectie in Schoonebeek (minimale biocide toevoeging)

| Jaar na herstart olieproductie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mijnbouwhulpstoffen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • biociden (ton/jaar) | 1,0 | 2,3 | 2,3 | 3,4 | 4,4 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 3,5 |
| Waterinjectie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • elektriciteitsconsumptie, GWh _e /jaar | 2,1 | 4,7 | 4,8 | 6,9 | 9,0 | 10,4 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 10,7 | 7,1 |
| Jaarproductie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • geïnjecteerd water, 1.000 m ³ /jaar | 469 | 1.047 | 1.063 | 1.533 | 2.007 | 2.304 | 2.372 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 2.373 | 1.582 |

Olieverwijdering

Verwijdering van gedispergeerde en opgeloste oliecomponenten gebeurt in twee deelprocessen:

- Productiewater uit de OBI wordt eerst in een IGF (induced gas flotation) behandeld om resterende oliedruppels en vaste deeltjes te verwijderen. Er wordt na toevoeging van 10 mg/l aan coagulant (bijvoorbeeld aluminiumsulfaat) een gas (aardgas) door het productiewater geleid, waardoor oliedeeltjes opdrijven en worden 'afgeschept'. De verwijderde olie wordt teruggevoerd naar de OBI.⁷
- Met NSF (nutshell filtration) worden de nog kleinere oliedruppels verwijderd die niet in de IGF verwijderd zijn door absorptie. Met olie verzadigd filtermateriaal wordt gereinigd door terugspoelen. De verwijderde olieachtige stoffen worden teruggevoerd naar de OBI.⁸

Deze combinatie van technieken zorgt ervoor dat deze olieachtige stoffen zoveel mogelijk uit het water worden gehaald, tot onder 5 mg/l.

Indampen

Het voorbehandelde productiewater wordt in drie deelstappen verdampt:

- Het voorgereinigde productiewater wordt aangezuurd met HCl (\pm 440 mg/l) om de pH te verlagen tot een waarde van ongeveer 5,5.
Aangezuurd productiewater wordt daarna opgewarmd tot bijna 100 °C met restwarmte uit kristallisatie en 'gestript' van opgeloste gassen door een kleine hoeveelheid stoom (1,25 ton/1.000 m³ productiewater) door het water te laten borrelen. Het verwijderen van opgeloste gassen is nodig om de energie-input in de verdampingsstap te verminderen en het risico op vorming van carbonaatafzettingen te beperken⁹.
- Met mechanische damprecompressie¹⁰ (MVR) wordt het voorverwarmede productiewater ingedampt tot een 200 g/l geconcentreerde en bijna verzadigde zoutoplossing/brijn. Deze techniek wordt bijvoorbeeld ook toegepast bij Wintershall in Emlichheim voor het terugwinnen van schoon water voor ketelvoedingswater productie.
Voor aandrijving van de compressor van de MVR is ongeveer 20 kWh_e/m³ destillaat nodig¹¹.
Niet-vluchtige componenten, waaronder zouten, natuurlijke radio-isotopen¹², zware metalen en niet-vluchtige hulpstoffen, blijven achter in de geconcentreerde brijn en zullen ook in het zout terecht komen. Het na strippen nog in het productiewater aanwezige ammoniak zal voor het overgrote deel (\geq 90%) in het zout achterblijven.
- Bij kristallisatie raakt de zoutoplossing door verder indampen met stoom oververzadigd, waardoor zoutkristallen ontstaan en neerslaan. De zoutkristallen worden geïsoleerd en mechanisch gedroogd

⁷ NSFs gebruiken vaak ook mijnbouwhulpstoffen: biocide om biofilm tegen te gaan, of zeep om bed beter terug te kunnen spoelen

⁸ Nutshell filters worden regelmatig (bijv. elk uur) "teruggewassen" om de geabsorbeerde olie en solids van het media af te spoelen. Dit kan hydraulisch of mechanisch (het bed oproeren met mixer).

⁹ Het gasmengsel - ook wel stripgas genoemd - wordt ontzwaveld met een Thiopaq installatie (verwijdering H₂S met > 99% verwijderingsrendement). Afgevangen H₂S wordt daarbij omgezet in een extern afzetbare zwavelcake. Het ontzwavelde stripgas wordt daarna vergaand afgekoeld, waardoor waterdamp uit het stripgas condenseert en wateroplosbare stoffen in het stripgas, zoals NH₃, worden verwijderd (NH₃ zou NO_x worden bij verbranding in de ketel). Het gekoelde en ontwaterde stripgas wordt daarna verbrand in de stoomboiler op het OBI-terrein. Het condensaat wordt extern verwerkt.

De hoeveelheid stripgas is volgens door NAM uitgevoerde simulaties in Unisim – een computerprogramma voor rekenen aan chemische processen - kleiner dan 0,1 gew% van het te verwerken productiewater. Door ontzwaveling voorafgaand aan verbranding en door condensatie van de waterfase zijn emissies bij verbranding minimaal. Verdere verwerking van de stripgassen is daarom in de milieuanalyse verder buiten beschouwing gelaten.

¹⁰ MVR is een thermodynamisch efficiënte wijze van verdamping. Het maakt gebruik van een elektrisch aangedreven warmtepomp in de vorm van een compressor. Met de compressor wordt tijdens verdamping gevormde waterdamp gecompriëerd tot een druk waarbij de waterdamp weer condenseert. Daardoor komt de verdampingswarmte van de gevormde waterdamp weer vrij voor hergebruik.

¹¹ In de Herafweging 2016 is een specifiek gebruik van 60 kWh_e/m³ destillaat. In deze waarde werd echter geen rekening gehouden met mogelijkheden voor energieoptimalisatie, met name voorverwarmen van productiewater voor ontgassing.

¹² Radioactieve stoffen komen in het productiewater voor in niet meldingsplichtige concentraties van natuurlijke radio-isotopen.

met een centrifuge tot 90% droge stof. De overblijvende verzadigde oplossing wordt gerecirculeerd en weer gedeeltelijk ingedampt.

Er is aangenomen dat voor kristallisatie om energie te besparen thermische damprecompressie wordt gebruikt. Daarbij wordt verse stoom – dezelfde stoom als wordt gebruikt voor injectie in het olieveld – in een verhouding 1 ÷ 2 gecombineerd met damp uit kristallisatie, waardoor lagedruk stoom ontstaat. Van de lagedruk stoom wordt circa $\frac{2}{3}$ gerecirculeerd voor warmtelevering aan het kristallisatieproces, terwijl de resterende $\frac{1}{3}$ deel wordt gebruikt voor het voorverwarmen van voorbehandelde productiewater.

Afvoer van zoutproduct

Afgescheiden zout - een mengsel van voornamelijk NaCl (77%) en CaCl₂ (14%) - zal vanwege de aanwezigheid van zware metalen en aardalkalimetalen (met name strontium, barium)¹³ en omdat het goed oplosbare zouten betreft naar verwachting geconditioneerd moeten worden opgeslagen. Er is verondersteld dat het zout wordt overgeslagen in big bags (1,25 m³ inhoud, 2,5 kg) met kunststof afdekhoezen (0,9 kg/hoes) voor geconditioneerde stort in een deponie voor chemisch afval. In overeenstemming met de benadering in het LAP is aangenomen dat de big bags in het stortlichaam tot 15 meter hoogte worden opgestapeld en dat de ruimte tussen de big bags met zand wordt opgevuld (0,3 m³/bigbag). De hoeveelheid gemengd zoutproduct bedraagt in de eerste fase van de exploitatie 100-105 ton per dag (90% droge stof). De totale vracht aan restzouten die tijdens de exploitatie tot 2040 wordt geproduceerd is op basis van de verwachte ontwikkeling van het zoutgehalte in productiewater (zie Figuur) geschat op 560 kiloton.

Gebruik van hulpstoffen als bigbags, hoezen en zand volgt uit de te storten hoeveelheid restmateriaal en het specifieke gebruik van hulpstoffen per bigbag. Er is voor het zout uitgegaan van een bulkdichtheid van 1.200 kg/m³.

Er is in deze LCA geen rekening gehouden met emissies vanuit de stort naar de bodem. Er is aangenomen dat het compartiment in de stort volledig is afgeschermd, waardoor geen infiltratie van vocht optreedt.

Destillaat nabehandeling

Het destillaat van mechanische damprecompressie en kristallisatie wordt in twee stappen nabehandeld:

- Na ontgassen en destillatie nog in minimale concentraties aanwezige H₂S wordt met ClO₂ geoxideerd tot zwavelzuur en chloride, relatief ongevaarlijke zouten.
- Resterende organische stoffen worden verwijderd door adsorptie aan actieve kool. De gebruikte actieve kool wordt extern geregenereerd.

De concentraties aan zouten en ammoniak in het nabehandelde water bedragen naar schatting respectievelijk 50 mg/l en 2-3 mg/l. deze concentraties zijn respectievelijk aanzienlijk lager en vergelijkbaar met de concentraties van zouten (≤ 300 mg/l) en ammoniak ($\leq 2,8$ mg/l) van oppervlaktewater in het Stieltjeskanaal. Omdat het destillaat schoner is dan het water in het ontvangend oppervlaktewater zijn er in relatie tot lozing geen emissies beschouwd.

¹³ Zie ook tabel 3.1 in de Herafweging 2022 voor injectie in aardgasvelden in Twente. De concentraties van strontium en barium in het zoutmengsel zijn naar schatting respectievelijk ongeveer 7 kg/ton zout en 0,5 kg/ton zout. De concentraties van andere zware metalen liggen – met uitzondering van die van mangaan – onder de detectiegrens. De concentratie van mangaan in zout is naar schatting ongeveer 25 g/ton zout.

De hoeveelheid te lozen gezuiverd water bedraagt maximaal ongeveer 6.400 m³ per dag¹⁴. Het lozingspunt zal in overleg met het waterschap worden vastgesteld, zodat het ontvangende watersysteem zo min mogelijk verstoord raakt. Vooralsnog wordt aangehouden dat het gezuiverde water op het Stieltjeskanaal kan worden afgevoerd. Daarmee is er netto geen wateronttrekking aan het lokale oppervlaktewatersysteem.

3.1.2 Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen

In Tabel 3-2 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie en van de geproduceerde hoeveelheden zout en water gedurende de exploitatieperiode van het olieveld. Deze cijfers zijn ook gebruikt in de MKBA.

De opzet van dit alternatief is suboptimaal en zou kunnen worden gezien als een 'hoek van het speelveld'. Er is bijvoorbeeld voor kristallisatie geen multieffect indamper beschouwd, alhoewel deze optie wel als commerciële technologie wordt aangeboden voor indampen van brijn van oliewinning¹⁵.

3.1.3 Verschillen met de analyse in 2016

De in Tabel 3-2 gegeven cijfers zijn voornamelijk gebaseerd op de systeemsimulatie die door NAM is uitgevoerd ten behoeve van de herafweging in 2016.

Er zijn echter een aantal verschillen met de analyse uitgevoerd in 2016. De verschillen zijn deels gerelateerd aan verschillen in de vrijkomende hoeveelheden productiewater en het zoutgehalte van het productiewater. Daarnaast zijn er ook verschillen doordat er in dit onderzoek rekening is gehouden met mogelijkheden voor beperking van energiegebruik en met nieuwe inzichten in het functioneren van procesinstallaties. De belangrijkste verschillen zijn:

- Productievolumen water is 6,500 m³/d in plaats van 8,000 m³/d.
- Er is een lager specifiek elektriciteitsgebruik aangehouden voor de MVR (20 kWh_e/m³ destillaat in plaats van 60 kWh_e/m³ destillaat). In de oorspronkelijke, door NAM uitgevoerde analyse voor het MER in 2005 werd wel al uitgegaan van MVR en kristallisatie met TVR. In de oorspronkelijke opzet was echter geen toepassing voorzien voor de TVR geproduceerde lage druk stoom. In deze analyse is aangenomen dat de stoom wordt gebruikt voor het 'voorverwarmen' van productiewater tot de operationele temperatuur van de MVR. Door voorverwarmen kan het elektriciteitsgebruik van de MVR lager zijn.
- De consumptie van ClO₂ is ongeveer 8 maal lager ingeschat. In dit onderzoek is op basis van praktijkervaringen bij bijvoorbeeld raffinaderijen aangehouden dat niet 10% maar 90% van de H₂S bij strippen van productiewater wordt afgevoerd in het stripgas, waardoor ook de ClO₂-consumptie voor oxidatie van resterende H₂S ongeveer 8 maal lager is geschat.
- Strippen van destillaat met stoom om ammoniak te verwijderen kan achterwege blijven. Aanzuren van productiewater (pH = ± 5,5) voorafgaand aan indampen in de MVR leidt er volgens bij RHDHV deskundigen op gebied van waterzuivering toe dat ammoniak voor meer dan 90% als NH₄⁺ in het zoutconcentraat achterblijft. Door het achterblijven van NH₃/NH₄⁺ in het zout kan strippen met stoom achterwege blijven en kan de daaraan gerelateerde consumptie van NaOH en HCl worden vermeden.

¹⁴ Voor de rekenaars: van de te behandelen 6.500 m³/dag aan productiewater worden kleine fracties afgevoerd in zoutproduct en stripgas.

¹⁵ Zie bijvoorbeeld: <https://www.saltworkstech.com/technology/saltmaker-multieffect-evaporator-crystallizer/>

Tabel 3-2. Ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie bij alternatief "Vast Zout"

| Jaar na herstart olieproductie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Flotatie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Coagulant consumptie, ton/jaar | 5 | 10 | 11 | 15 | 20 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 16 |
| Ontgassen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • HCl consumptie voor aanzuren, ton/jaar | 205 | 458 | 465 | 671 | 878 | 1.008 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 1.038 | 692 |
| • NaOH (100%) voor ontzwaveling, ton/jaar | 4 | 9 | 10 | 14 | 18 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 14 |
| Voorverwarmen van 50 tot 100 °C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <u>kton verse stoom/jaar</u> | 10 | 29 | 35 | 57 | 82 | 101 | 110 | 115 | 119 | 122 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 128 | 129 | 129 | 87 | |
| MVR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Elektriciteit consumptie, GWhm/jaar | 8 | 19 | 19 | 28 | 37 | 43 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 30 |
| Kristallisatie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • ton verse stoom/jaar toegevoerd | 28 | 56 | 51 | 67 | 80 | 85 | 82 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 65 | 65 | 64 | 64 | 63 | 62 | 41 | |
| H₂S-oxidatie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • ClO ₂ -consumptie, ton/jaar | 16 | 35 | 36 | 51 | 67 | 77 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 53 |
| Jaarproductie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Destillaat, 1.000 m ³ /jaar | 468 | 1.044 | 1.061 | 1.530 | 2.004 | 2.300 | 2.369 | 2.369 | 2.369 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 2.370 | 1.580 |
| • Reststoffen (90% d.s.), ton/jaar | 13 | 25 | 23 | 30 | 36 | 39 | 37 | 35 | 33 | 32 | 31 | 30 | 30 | 29 | 29 | 29 | 29 | 28 | 18 | |

3.2 Alternatief 2b: Indikken van de waterstroom en brijninjectie

De essentie van Alternatief 2 is het indikken van het productiewater, waarbij een deel van de waterstroom als gezuiverd schoon zoet water wordt hergebruikt voor ketelvoedingswater productie en een deel, met verhoogde zoutconcentraties, wordt geïnjecteerd. Alternatief 2 wordt ook aangeduid als Indikking. Er zijn twee varianten, waarbij brijn wordt geïnjecteerd in de aquifer van het olieveld in Schoonebeek Oost of injectie in het Schoonebeek gasveld.

In Hoofdstuk 3.2 wordt alternatief 2b beschreven met waterinjectie in het Schoonebeek gasveld. In hoofdstuk 3.3 wordt alternatief 2a waterinjectie in de aquifer beschreven.

3.2.1 Beschrijving

In dit alternatief wordt net als in het alternatief “*Volledig zuiveren tot zoet water en vast zout*” eerst resterende olie verwijderd door toepassing van flotatie en filtratie over notenschalen.

Na deze voorbehandeling wordt de pH van het productiewater verhoogd met NaOH tot een waarde van ongeveer 7,0, waarna gedeeltelijke ontharding optreedt. Daarbij slaan in een aparte pelletreactor ongeveer $\frac{1}{3}$ van de in het productiewater aanwezige calcium en strontium (CaCO_3 en SrCO_3) neer als carbonaat en slaat ongeveer $\frac{1}{3}$ van de aanwezige barium neer als sulfaat (BaSO_4). Er is in deze beknopte LCA aangenomen dat de neerslag wordt ontwaterd, wordt overgeslagen in bigbags met een afsluitende plastic hoes en dat de bigbags worden afgevoerd en ondergebracht in een geconditioneerde stort. Ook voor deze reststroom is geen rekening gehouden met eventuele emissies uit de stort.

Na deze gedeeltelijke ontharding worden in productiewater nog aanwezige zouten en andere componenten door ultrafiltratie en omgekeerde osmose geconcentreerd in een zoutoplossing (brijn). De bij omgekeerde osmose aangehouden osmotische druk bedraagt maximaal circa 110 bar. Omgekeerde osmose voor concentratie van zouten en teruggwinning van zoet water wordt sinds begin jaren 90 van de vorige eeuw toegepast voor teruggwinning van schoon water¹⁶ (voornamelijk uit zeewater). In de berekeningen is van een vaste verhouding geïnjecteerd water en teruggewonnen water uitgegaan. Door de afnemende zoutconcentratie in productiewater zal het zoutgehalte in het te injecteren water steeds verder afnemen, terwijl ook gebruik van elektriciteit voor omgekeerde osmose en gebruik van chemicaliën in de pelletreactor afneemt.

Tussen beide filtratiestappen wordt een actief kool filter toegepast voor verwijdering van restanten aardolie en andere organische stoffen. Verzadigde actieve kool wordt extern geregenereerd.

Het permeaat van de omgekeerde osmose wordt aan de ultra-puur waterfabriek in Emmen geleverd om te worden opgewerkt tot ketelvoedingswater. Het vervangt daarbij effluent van de RWZI als grondstof. De restconcentratie van zouten in het permeaat bedraagt circa 70 mg/l. Eventuele overschotten aan permeaat kunnen op oppervlaktewater worden geloosd¹⁷. Omdat het permeaat schoner is dan het water in het ontvangend oppervlaktewater zijn er in relatie tot lozing geen emissies beschouwd.

¹⁶ *Praktijkvoorbeelden van toepassing van omgekeerde osmose op olieproductiewater betreffen het San Ardo olieveld van Chevron en bij het Arroyo Grande olieveld, beide in California. Oliewinning wordt bij deze velden net als bij het Schoonebeek olieveld gestimuleerd middels stoominjectie. Bij beide installaties wordt gebruik gemaakt van het OPUS II concept van Veolia en wordt 75% van het productiewater teruggewonnen als zoet water.*

¹⁷ *In dit onderzoek is aangenomen dat van het productiewater ongeveer 25% wordt geherinjecteerd en ongeveer 75% wordt teruggewonnen om te worden gebruikt als grondstof voor ketelvoedingswater. De hoeveelheid teruggewonnen water is na de eerste drie jaar groter dan de geïnjecteerde hoeveelheid stoom. Het verschil wordt na een aantal jaren ongeveer 300.000 m³/jaar. Aangezien restconcentraties van verontreinigingen in teruggewonnen water laag zijn zal het teruggewonnen water vrijwel volledig kunnen worden opgewerkt tot ketelvoedingswater en blijft er ongeveer 300.000 m³/jaar aan zoet water over voor andere toepassingen.*

Tabel 3-3. Ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie

| Jaar na herstart olieproductie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mijnbouwhulpstoffen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Biocide ¹⁸ | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,8 |
| Flotatie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Coagulant consumptie, ton/jaar | 5 | 10 | 11 | 15 | 20 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 16 |
| Pelletreactor¹⁹ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • NaOH (100%) voor pH aanpassing, ton/jaar | 183 | 368 | 338 | 443 | 531 | 563 | 540 | 508 | 483 | 463 | 449 | 439 | 432 | 427 | 424 | 420 | 417 | 412 | 269 |
| • HCl voor pH aanpassing, ton/jaar | 3 | 6 | 6 | 8 | 11 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 9 |
| Ultrafiltratie met keramisch membraan (SiC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • NaOH (100%), ton/jaar | 9 | 19 | 20 | 28 | 37 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 29 |
| • Citroenzuur (3%), ton/jaar | 8 | 19 | 19 | 27 | 36 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 28 |
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| RO membranen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • NaOH (100%), ton/jaar | 4 | 9 | 9 | 13 | 18 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 14 |
| • Citroenzuur (3%), ton/jaar | 4 | 9 | 9 | 13 | 17 | 19 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 13 |

¹⁸ Voor biocide geldt dat deze geschaald moet worden met de hoeveelheid injectewater. Met indikken zal dit dus minder worden tenopzichte van Alternatief 3.

¹⁹ Het te behandelen volume voor de WTU in Alternatief 2a is groter. Daarom gaan deze getallen hoger worden t.o.v. Alternatief 1. Schalen naar volumeflow door WTU

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 1,5 | 3,1 | 2,8 | 3,7 | 4,5 | 4,8 | 4,7 | 4,4 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 2,4 |
| Waterinjectie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 0,5 | 1,1 | 1,1 | 1,6 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 1,7 |
| Jaarproductie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Teruggewonnen water, 1.000 m ³ /jaar | 347 | 775 | 787 | 1.135 | 1.486 | 1.706 | 1.756 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.757 | 1.756 | 1.757 | 1.171 |
| • Geinjecteerd water, 1.000 m ³ /jaar | 110 | 245 | 249 | 358 | 469 | 539 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 555 | 370 |
| • Reststoffen (90% d.s.), ton/jaar | 562 | 1.096 | 1.000 | 1.296 | 1.539 | 1.618 | 1.543 | 1.444 | 1.366 | 1.307 | 1.263 | 1.231 | 1.209 | 1.194 | 1.184 | 1.174 | 1.162 | 1.147 | 753 |

Het concentraat van de omgekeerde osmose wordt geïnjecteerd in het gedepleteerde Schoonebeek gasveld. Net als bij de voorgenoemde integrale injectie van productiewater (zie paragraaf 3.4) is aangenomen dat voorafgaand aan transport en injectie per liter te injecteren water 2,4 mg biocide wordt toegevoegd. Voor transport per buisleiding en injectie is in aansluiting op de MKBA uitgegaan van een gemiddeld specifiek elektriciteitsgebruik van 4,5 kWh_e/m³ te injecteren brijn. Er is verder aangenomen dat bebuizing, putten en andere apparatuur worden uitgevoerd in corrosiebestendig materiaal, waardoor geen corrosieremmer nodig is.

3.2.2 Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen

In Tabel 3-3 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie en van de geproduceerde hoeveelheden zout en water gedurende de exploitatieperiode van het olieveld. Dezelfde cijfers zijn ook gebruikt in de MKBA.

De gepresenteerde verbruiken zijn berekend aan de hand van de samenstelling van productiewater en de daarin aanwezige zouten. Voor de berekeningen is een door de 'business unit' Industrial Water van RHDHV ontwikkeld Excel-model gebruikt, waarin o.a. de oplosbaarheid van zouten in oplossing als een functie van de pH wordt meegenomen.

Volgens de berekeningsresultaten varieert in deze alternatieve verwerkingsroute het elektriciteitsgebruik per m³ te verwerken productiewater van 4,5 kWh_e/m³ aan het begin van de exploitatie tot 3,6 kWh_e/m³ aan het eind van de exploitatie. Elektriciteitsgebruik hangt met name samen met omgekeerde osmose en in tweede instantie met injectie van de geconcentreerde brijn. Het specifieke elektriciteitsgebruik voor omgekeerde osmose neemt af van circa 2,7 kWh_e/m³ productiewater in 2024 tot circa 1,6 kWh_e/m³ productiewater in 2033 door de afnemende zoutconcentratie in het productiewater en de daardoor afnemende osmotische druk over ultrafiltratie en omgekeerde osmose. Het elektriciteitsgebruik is vanaf enkele jaren na start van de exploitatie over het algemeen lager dan bij integrale injectie in het Schoonebeek gasveld.

Aan de andere kant is in deze configuratie van de alternatieve verwerkingsroute "Indikking" enkele honderden tonnen per jaar aan NaOH nodig voor de gedeeltelijke ontharding van het productiewater voorafgaand aan filtratie en is enkele tientallen tonnen per jaar aan verdund citroenzuur nodig om de filters te behandelen tegen aanslag en aangroei.

3.3 Alternatief 2a: Indikken van de waterstroom en brijninjectie in de Oost aquifer

3.3.1 Beschrijving

In deze variant op het Alternatief "Indikken van de waterstroom en brijninjectie in Schoonebeek gasveld" wordt de bij indikken geproduceerde brijn niet in het Schoonebeek gasveld, maar in een aquifer (Oost Aquifer) in de nabijheid van het olieveld geïnjecteerd. Om de druk in de aquifer (circa 85 bara) constant te houden zal in deze variant eerst formatiewater uit de Oost aquifer worden opgepompt (met elektrisch aangedreven pompen) en samen met productiewater in de WTU worden behandeld.

Het te injecteren volume zoutconcentraat moet gelijk zijn aan het te produceren volume aan formatiewater uit de Oost aquifer (q_{aq}) om de druk aldaar constant te houden²⁰.

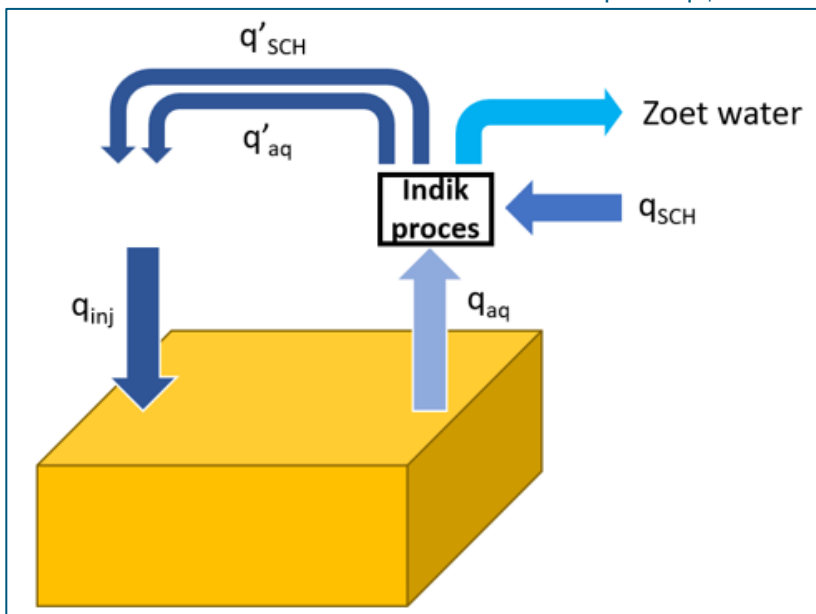
Het volume aan uit Oost aquifer geproduceerde water en het overeenkomstige volume aan te injecteren brijn kan worden berekend met de formule

$$q_{aq} = q_{SCH} / (IF - 1)$$

waarbij:

- $IF = \text{Indik Factor} = (q_{SCH} + q_{aq}) / q_{aq}$
- q_{SCH} = het volume aan productiewater
- $q_{aq} = q_{inj}$ = het volume aan te injecteren water en het volume aan formatiewater dat eerst uit de Oost aquifer wordt onttrokken.

De totale te verwerken water stroom in de WTU = $q_{SCH} + q_{aq}$.



Figuur 3-2. Principe van waterstromen bij injectie van brijn in de Oost aquifer

Bij injectie van brijn in het Schoonebeek gasveld is de indik factor circa 4,3. Deze factor is ook aangehouden voor de globale inschatting van milieubelasting bij injectie in de Oost aquifer.

Het geschatte verloop van het te injecteren volume aan brijn en de zoutconcentratie in het in de WTU behandelde mengsel van productiewater en formatiewater uit de Oost aquifer is gegeven in Figuur 3-3.

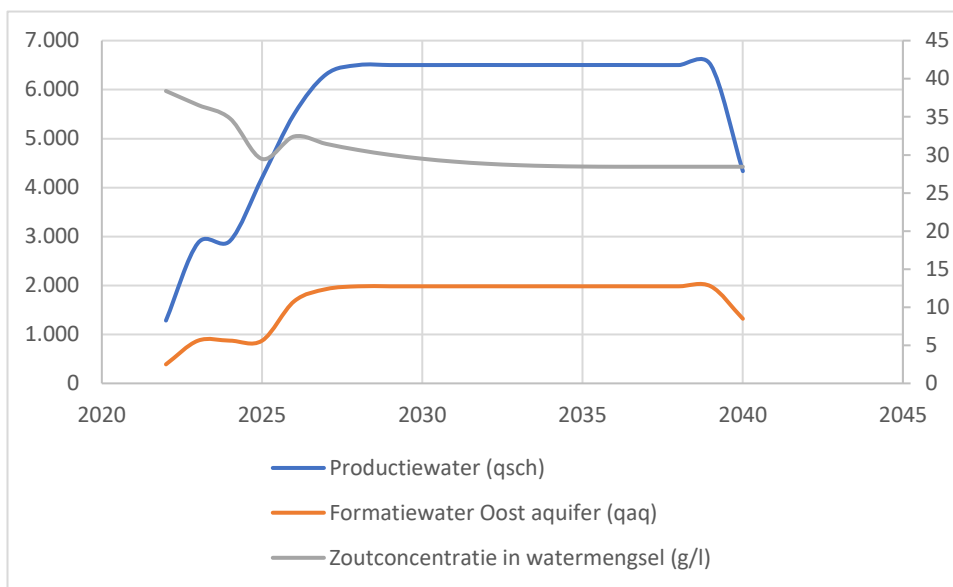
Deze variant van het concept is waarschijnlijk niet realistisch combineerbaar met het voor dit alternatief door Royal HaskoningDHV ontwikkelde concept voor waterzuivering.

- Water uit de Oost aquifer is met een zoutgehalte van 85 g/l veel zouter dan het productiewater. De zoutconcentratie in het watermengsel vraagt – voor de aangehouden indik factor van 4,3 - bij omgekeerde osmose in de eerste jaren na herstart van olieproductie een druk die hoger zou zijn (tot 140 bar(a)) dan de beschouwde membranen aan zouden kunnen (120 bar(a)).

²⁰ Op dit moment is de druk in het Oost aquifer hoger dan 85 bar door historische over-injectie aan de Duitse zijde van de grens. Hierdoor zal er instroom vanuit Duitsland optreden, en moet er mogelijk 20% meer water worden geproduceerd (q_{aq}) dan er kan worden geïnjecteerd (q_{inj}).

- Daarnaast is niet duidelijk of bij mengen van productiewater en formatiewater uit de Oost aquifer eventueel problemen kunnen ontstaan door bijvoorbeeld vorming van vaste zouten en afzettingen. De resultaten van de globale LCA voor deze variant zijn daarom vooral bedoeld als indicatie van wat voor effect brijninjectie in een al met formatiewater gevuld reservoir heeft op de milieubelasting per eenheid productiewater.

De som van productiewater en formatiewater uit de Oost aquifer is het totale volume dat in de WTU wordt behandeld.



Figuur 3-3. Geschat verloop van geproduceerde hoeveelheden formatiewater en zoutgehalte in mengsel van formatiewater en productiewater

3.3.2 Gebruik van bedrijfsmiddelen en geproduceerde hoeveelheden water en reststoffen

In Tabel 3-3 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie en van de geproduceerde hoeveelheden zout en water gedurende de exploitatieperiode van het olieveld. De gebruiken zijn vergelijkbaar met de gebruiken bij de variant met injectie in het Schoonebeek gasveld. Ze zijn in deze variant echter hoger doordat:

- Er meer water wordt behandeld in de WTU – niet alleen het met de olie meekomende productiewater, maar ook formatiewater uit de Oost aquifer.
- Het watermengsel zouter is, waardoor meer chemicaliën moeten worden gebruikt voor conditionering en het mengsel bij omgekeerde osmose tot een hogere druk moet worden gebracht voor productie van zoet water.
- Er een additionele elektriciteitsvraag is in de vorm van het elektriciteitsgebruik voor het oppompen van water uit de Oost aquifer²¹.

Vanwege de hogere zoutconcentratie in het watermengsel en vanwege het hogere totale volume ontstaat er ook meer vast residu bij gedeeltelijke ontharding.

²¹ Productie van formatiewater uit de Oost aquifer vergt volgens NAM 0,15 kWh_e/m³ opgepompt water. Voor oppompen en transport van formatiewater naar de WTU hoeven geen chemicaliën te worden toegevoegd.

Tabel 3-1. Ontwikkeling in de tijd van het gebruik van chemicaliën en energie bij Alternatief 'Indikken van de waterstroom en brijinjectie in de Oost aquifer'

| Jaar na herstart olieproductie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Oppompen formatiewater uit Oost aquifer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 0,5 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 1,7 |
| Mijnbouw hulpstoffen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Biocide ²² | 0,3 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,1 |
| Flotatie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Coagulant consumptie, ton/jaar | 5 | 10 | 11 | 15 | 20 | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 16 |
| Pelletreactor²³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • NaOH (100%) voor pH aanpassing, ton/jaar | 380 | 762 | 691 | 761 | 1.083 | 1.139 | 1.083 | 1.009 | 949 | 903 | 867 | 840 | 820 | 807 | 797 | 790 | 783 | 775 | 510 |
| • HCl voor pH aanpassing, ton/jaar | 3 | 7 | 7 | 10 | 14 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 11 |
| Ultrafiltratie met keramisch membraan (SiC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • NaOH (100%), ton/jaar | 11 | 25 | 26 | 34 | 49 | 56 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 | 38 |
| • Citroenzuur (3%), ton/jaar | 11 | 24 | 25 | 33 | 47 | 53 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 37 |
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,40 |
| RO membranen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

²² Voor biocide geldt dat deze geschaald moet worden met de hoeveelheid injectiewater. Met indikken zal dit dus minder worden ten opzichte van Alternatief 3.

²³ Het te behandelen volume voor de WTU in Alternatief 2a is groter. Daarom gaan deze getallen hoger worden t.o.v. Alternatief 1. Schalen naar volumeflow door WTU

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| • NaOH (100%), ton/jaar | 5 | 12 | 12 | 16 | 23 | 26 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 18 |
| • Citroenzuur (3%), ton/jaar | 5 | 12 | 12 | 16 | 22 | 25 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 17 |
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 3,0 | 6,1 | 5,6 | 6,2 | 8,9 | 9,4 | 9,0 | 8,4 | 8,0 | 7,6 | 7,3 | 7,1 | 7,0 | 6,9 | 6,8 | 6,7 | 6,7 | 6,6 | 4,4 |
| Waterinjectie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Elektriciteit consumptie, GWhe/jaar | 0,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 2,8 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 2,2 |
| Jaarproductie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • Teruggewonnen water, 1.000 m ³ /jaar | 1.242 | 2.772 | 2.804 | 3.757 | 5.314 | 6.100 | 6.281 | 6.281 | 6.281 | 6.282 | 6.282 | 6.281 | 6.282 | 6.282 | 6.282 | 6.281 | 6.281 | 6.281 | 4.188 |
| • Geïnjecteerd water, 1.000 m ³ /jaar | 392 | 875 | 875 | 875 | 1.678 | 1.927 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.984 | 1.323 |
| • Reststoffen (90% d.s.), ton/jaar | 2.877 | 5.641 | 5.100 | 5.556 | 7.869 | 8.231 | 7.793 | 7.235 | 6.784 | 6.429 | 6.158 | 5.954 | 5.808 | 5.704 | 5.632 | 5.576 | 5.525 | 5.466 | 3.603 |

3.4 Alternatief 3: Injectie in Schoonebeek gasveld

3.4.1 Beschrijving

In de voorgenomen activiteit wordt op de OBI afgescheiden productiewater per buisleiding vanaf de OBI naar injectieputten boven het Schoonebeek aardgasveld getransporteerd en daar geïnjecteerd in het gasveld.

Voorafgaand aan transport en injectie wordt per liter te injecteren water 2,4 mg biocide toegevoegd²⁴.

Voor transport per buisleiding en injectie is - in aansluiting op de MKBA en heroverweging uit 2016 - uitgegaan van een gemiddeld specifiek elektriciteitsgebruik van 4,5 kWh_e/m³ productiewater.

In Tabel 3-1 is voor de voorgenomen activiteit een overzicht gegeven van de ontwikkeling in de tijd van het gebruik van bedrijfsmiddelen.

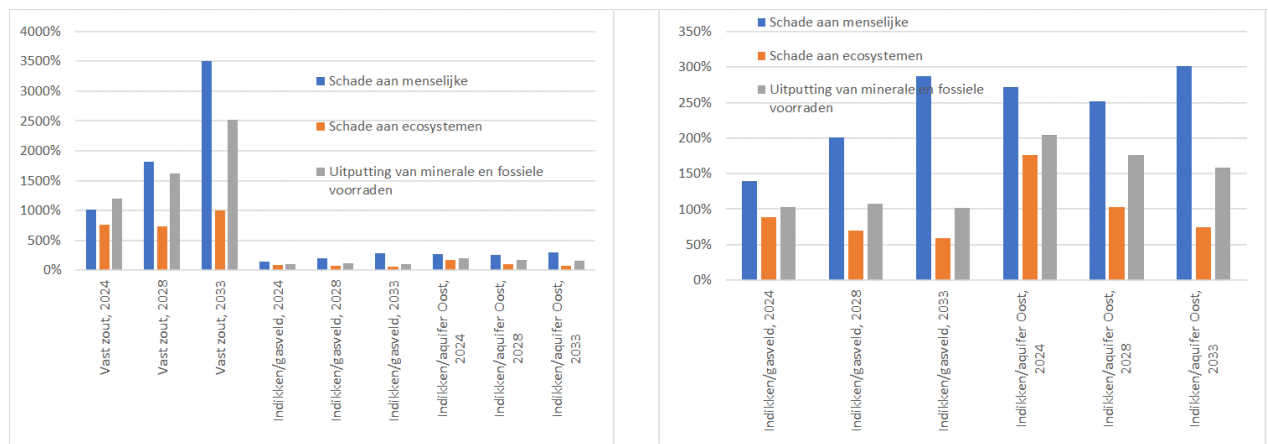
²⁴ Toevoeging van corrosieremmer voorafgaand aan injectie is buiten beschouwing gelaten omdat volgens opgave door NAM apparatuur, bebuising en put in corrosiebestendig materiaal zullen worden uitgevoerd. Eventuele toevoeging van zwavelwaterstofbinder en emulsiebreker zijn buiten beschouwing gelaten omdat consumptie van deze stoffen is gerelateerd aan olieproductie.

Er wordt ook anti-aanslagmiddel gedoseerd gedurende de eerste 6 – 12 maanden na herstart van olieproductie. Deze consumptie is buiten beschouwing laten omdat deze tijdelijk van aard is.

4 Vergelijking van alternatieven

In dit hoofdstuk worden de bijdragen van de drie verwijderingsroutes aan de verschillende ‘midpoints’ en ‘endpoints’ voor de drie beschouwde zichtjaren vergeleken.

De bijdragen zijn als relatieve score voor de drie ‘endpoints’ samenvattend vergeleken in Figuur 4-1.



Figuur 4-1. Vergelijking van relatieve bijdragen van beide alternatieve verwijderingsroutes aan beschouwde ‘endpoints’ c.q. schadegebieden, vergeleken met integrale injectie (= 100%)

In Tabel 4-1 is voor de drie zichtjaren een vergelijking tussen de drie beschouwde alternatieven gegeven van de bijdragen aan de beschouwde milieuthema’s c.q. midpoints. Een procentuele vergelijking van beide alternatieven ten opzichte van de voorgenomen injectie is gegeven in Tabel 4-2.

Een opbouw van de bijdragen aan de milieuthema’s uitgesplitst naar energiegebruik, gebruik van bulkchemicaliën en mijnbouw hulpstoffen en van waterconsumptie en gestort restmateriaal is toegevoegd in Tabel 4-3 tot en met Tabel 4-6.

4.1 Alternatief “Vast Zout” versus Alternatief volledige waterinjectie

Bij de alternatieve verwerkingsroute “Volledige verwerking tot zoet water en vast zout” zijn de bijdragen aan de beschouwde milieuthema’s voor alle milieuthema’s groter dan bij injectie, met uitzondering van waterconsumptie. Bij injectie verdwijnt het water in de ondergrond, bij productie van vast zout wordt feitelijk ook water uit de ondergrond opgepompt en gezuiverd tot schoon water.

Het energieverbruik en de gebruikte hoeveelheden chemicaliën en de daaraan gerelateerde milieubelasting zijn significant hoger voor het vast zout alternatief in vergelijking tot alternatief waterinjectie, waardoor ook de nettobijdragen aan de andere beschouwde milieuthema’s dan waterconsumptie hoger is dan bij integrale injectie.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het concept “Vast Zout” geen toegevoegde waarde heeft zolang er voor zout geen nuttige toepassing kan worden gevonden.

4.2 Alternatief “Indikken van de waterstroom en brijninjectie in Schoonebeek gasveld” versus Alternatief waterinjectie

In de alternatieve verwerkingsroute “Indikken van de waterstroom en brijninjectie in Schoonebeek gasveld” wordt productiewater grotendeels teruggewonnen voor productie van ketelvoedingswater voor stoomproductie.

Opwerking vergt volgens de in deze LCA gevolgde berekeningen minder elektriciteit dan integrale injectie. Aan de andere kant is er voor opwerking een significante hoeveelheid bulkchemicaliën nodig.

Het netto-effect van deze uitruil tussen elektriciteit en chemicaliën is – bij de aangehouden verbruiken van elektriciteit en chemicaliën en de aan productie daarvan gerelateerde milieubelasting – een netto beperkt hogere bijdrage aan een aantal beschouwde milieuthema’s.

Omgerekend naar bijdragen aan ‘endpoints’ is de bijdrage bij “Indikken van de waterstroom en brijninjectie” aan schade aan menselijke gezondheid in 2024 en 2033 respectievelijk 40% en 190% hoger dan de bijdrage bij integrale injectie, terwijl de bijdrage aan schade aan ecosystemen in 2024 en 2033 respectievelijk 10% en 40% lager is. De bijdrage aan uitputting van minerale grondstoffen en fossiele energie is voor elk zichtjaar vergelijkbaar. In beide verwerkingsroutes neemt de milieubelasting per m³ productiewater in de loop van de tijd af doordat de milieubelasting per eenheid elektriciteit afneemt. De afname is bij “Indikken van de waterstroom en brijninjectie” minder sterk doordat milieubelasting gerelateerd aan productie van de bij productiewater geconsumeerde elektriciteit een minder groot aandeel in de totale milieubelasting heeft.

Bovenstaande wordt echter vertekend doordat voor elektriciteit wel, maar voor NaOH-productie geen rekening wordt gehouden met reductie van milieubelasting tijdens productie.

In principe zal ook de productie van Cl₂ en natronloog in de toekomst worden gebaseerd op hernieuwbare energie²⁵. Een deel van de productie is op dit moment al verduurzaamd²⁶.

Natronloog wordt geproduceerd door steenzout (NaCl) met lage druk stoom in de ondergrond op te lossen en de gevormde brijn na zuivering met elektriciteit (elektrolyse) om te zetten in chloorgas (Cl₂) en NaOH. Energiegebruik in de keten is volgens recente publicaties van PBL:

- Voor zoutproductie: 1,5 GJ/ton aan stoom, 0,26 GJ/ton elektriciteit
- Voor elektrolyse: 5,4 GJ_e/ton zout, 1,2 GJ_{stoom}/ton zout

Een kilo zout geeft circa 0,7 kg NaOH (100%).

Verder kan nog worden opgemerkt dat het aangehouden elektriciteitsgebruik voor injectie van 4,5 kWh_e/m³ een gemiddelde waarde betreft. Naarmate het gasveld verder gevuld raakt en de druk in het veld toeneemt zal meer elektriciteit moeten worden gebruikt voor injectie. Naarmate injectie meer energie kost en het zoutgehalte in productiewater daalt zal terugwinning van schoon water met omgekeerde osmose relatief gunstiger en energie-extensiever zijn vergeleken met integrale injectie.

Een in deze LCA niet meegenomen effect betreft eventuele indirecte effecten van vervanging van RWZI-effluent als grondstof voor ultra-puur waterfabriek door water teruggewonnen uit productiewater. Bij

²⁵ Zie ook: <https://www.nobian.com/nl/onze-duurzaamheidsaanpak-grow-greener-together>. Nobian wil in 2040 uitsluitend hernieuwbare energie gebruiken bij zoutproductie en elektrolyse.

²⁶ Voor zoutproductie wordt bij Frisia Zout in Harlingen stoom geproduceerd op basis van huishoudelijk afval gebruikt. De stoom wordt geleverd door OMRIN. Bij Nobian in Hengelo wordt stoom van Twence gebruikt. De geleverde stoom is geproduceerd op basis van B-hout.

behandeling van RWZI-effluent in de UPWF (UltraPuur WaterFabriek) in Emmen worden onder andere medicijnresten uit het effluent verwijderd. Waarschijnlijk wordt het effluent geloosd wanneer water uit productiewater als grondstof voor de ultra-puur waterfabriek wordt gebruikt en worden medicijnresten en andere verontreinigende stoffen in effluent op oppervlaktewater geëmitteerd. In principe kan dit worden voorkomen door schoon water uit productiewater niet te gebruiken als grondstof voor ketelvoedingswater, maar in een andere toepassing in te zetten.

4.3 Alternatief “Indikken van de waterstroom en brijninjectie in de Oost aquifer” versus Alternatief waterinjectie

Het hogere gebruik van chemicaliën en energie bij de alternatieve verwerkingsroute “Indikken van de waterstroom en brijninjectie in de Oost aquifer” ten opzichte van de variant waarbij brijn in het Schoonebeek gasveld wordt geïnjecteerd leidt ook tot hogere bijdragen aan milieuthema’s en ‘endpoints’. Deze variant op dit alternatief geeft geen toegevoerde waarde ten opzichte van de andere variant.

Tabel 4-1. Bijdragen van verwerkingsroutes aan milieuthema's, alle cijfers per m³ vrijkomend productiewater

| | | Injectie | | | Volledig verwerking tot zoet water en vast zout | | | "Indikken van de waterstroom en brijninjectie" | | |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| | | voor 2024 | voor 2028 | voor 2033 | voor 2024 | voor 2028 | voor 2033 | voor 2024 | voor 2028 | voor 2033 |
| Global warming | kg CO2 eq | 2,83E+00 | 8,03E-01 | 4,26E-01 | 2,80E+01 | 1,24E+01 | 1,26E+01 | 3,41E+00 | 1,26E+00 | 8,48E-01 |
| Stratospheric ozone depletion | kg CFC11 eq | 2,96E-07 | 8,56E-08 | 8,15E-08 | 4,12E-06 | 3,63E-06 | 3,09E-06 | 1,25E-06 | 7,98E-07 | 6,70E-07 |
| Ionizing radiation | kBq Co-60 eq | 1,81E-03 | 5,65E-04 | 2,84E-04 | 2,17E-02 | 3,03E-02 | 2,07E-02 | 1,07E-02 | 7,23E-03 | 5,92E-03 |
| Ozone formation, Human health | kg NOx eq | 1,55E-03 | 4,52E-04 | 1,19E-04 | 1,03E-02 | 8,94E-03 | 5,58E-03 | 3,78E-03 | 2,12E-03 | 1,58E-03 |
| Fine particulate matter formation | kg PM2.5 eq | 7,19E-04 | 2,14E-04 | 8,21E-05 | 8,26E-03 | 8,77E-03 | 6,44E-03 | 2,67E-03 | 1,67E-03 | 1,33E-03 |
| Ozone formation, Terrestrial ecosystems | kg NOx eq | 1,95E-03 | 5,65E-04 | 1,82E-04 | 1,50E-02 | 1,07E-02 | 7,45E-03 | 4,16E-03 | 2,22E-03 | 1,64E-03 |
| Terrestrial acidification | kg SO2 eq | 2,31E-03 | 6,75E-04 | 2,41E-04 | 1,95E-02 | 1,50E-02 | 1,07E-02 | 5,65E-03 | 3,20E-03 | 2,44E-03 |
| Freshwater eutrophication | kg P eq | 1,42E-04 | 5,56E-05 | 2,22E-05 | 5,58E-04 | 3,25E-04 | 1,20E-04 | 1,77E-04 | 7,80E-05 | 4,63E-05 |
| Marine eutrophication | kg N eq | 1,98E-06 | 6,41E-07 | 1,93E-07 | 1,52E-05 | 4,27E-05 | 2,32E-05 | 1,96E-05 | 1,40E-05 | 1,17E-05 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1,4-DCB | 3,58E-01 | 1,17E-01 | 4,20E-02 | 1,50E+01 | 2,09E+01 | 1,58E+01 | 4,62E+00 | 3,30E+00 | 2,74E+00 |
| Freshwater ecotoxicity | kg 1,4-DCB | 3,78E-04 | 1,11E-04 | 2,22E-05 | 3,09E-03 | 2,92E-03 | 1,84E-03 | 1,07E-03 | 6,39E-04 | 4,89E-04 |
| Marine ecotoxicity | kg 1,4-DCB | 3,19E-03 | 9,15E-04 | 1,13E-03 | 5,51E-02 | 2,81E-02 | 3,31E-02 | 6,08E-03 | 3,11E-03 | 2,80E-03 |
| Human carcinogenic toxicity | kg 1,4-DCB | 5,26E-03 | 1,54E-03 | 5,52E-04 | 5,64E-02 | 5,77E-02 | 4,25E-02 | 1,86E-02 | 1,17E-02 | 9,34E-03 |
| Human non-carcinogenic toxicity | kg 1,4-DCB | 3,83E-01 | 1,09E-01 | 4,84E-03 | 1,81E+00 | 1,31E+00 | 5,38E-01 | 6,77E-01 | 3,34E-01 | 2,19E-01 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Land use | m2a crop eq | 1,98E-02 | 5,87E-03 | 1,83E-03 | 1,51E-01 | 1,10E-01 | 7,55E-02 | 4,25E-02 | 2,31E-02 | 1,71E-02 |
| Mineral resource scarcity | kg Cu eq | 9,20E-04 | 4,43E-04 | 3,46E-04 | 7,40E-03 | 9,88E-03 | 6,68E-03 | 4,04E-03 | 2,79E-03 | 2,33E-03 |
| Fossil resource scarcity | kg oil eq | 8,92E-01 | 2,54E-01 | 2,07E-01 | 1,08E+01 | 4,36E+00 | 5,33E+00 | 1,02E+00 | 3,55E-01 | 2,78E-01 |
| Water consumption | m ³ | 7,61E-01 | 7,60E-01 | 7,60E-01 | -2,86E-01 | -2,44E-01 | -2,72E-01 | 2,60E-02 | 1,89E-02 | 1,57E-02 |

Tabel 4-2. Relatieve bijdragen van verwerkingsroutes aan milieuthema's, alle percentages ten opzichte van injectie

| | Global warming | Stratospheric ozone depletion | Ionizing radiation | Ozone formation, Human health | Fine particulate matter formation | Ozone formation, Terrestrial ecosystems | Terrestrial acidification | Freshwater eutrophication | Marine eutrophication | Terrestrial ecotoxicity | Freshwater ecotoxicity | Marine ecotoxicity | Human carcinogenic toxicity | Human non-carcinogenic toxicity | Land use | Mineral resource scarcity | Fossil resource scarcity | Water consumption |
|---------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| alt 1/alt 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - voor 2024 | 990% | 1395% | 1199% | 663% | 1149% | 769% | 843% | 393% | 767% | 4193% | 818% | 1727% | 1073% | 471% | 765% | 805% | 1206% | -38% |
| - voor 2028 | 1548% | 4239% | 5360% | 1978% | 4093% | 1888% | 2218% | 586% | 6657% | 17869% | 2623% | 3067% | 3743% | 1201% | 1880% | 2230% | 1714% | -32% |
| - voor 2033 | 2967% | 3791% | 7278% | 4687% | 7845% | 4090% | 4420% | 541% | 12003% | 37603% | 8310% | 2926% | 7690% | 11131% | 4114% | 1932% | 2573% | -36% |
| alt 2/alt 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - voor 2024 | 121% | 423% | 592% | 245% | 372% | 214% | 245% | 124% | 990% | 1293% | 284% | 191% | 353% | 177% | 215% | 439% | 114% | 3% |
| - voor 2028 | 157% | 932% | 1280% | 470% | 781% | 394% | 474% | 140% | 2192% | 2831% | 575% | 340% | 757% | 305% | 393% | 629% | 140% | 2% |
| - voor 2033 | 199% | 823% | 2086% | 1330% | 1618% | 901% | 1013% | 209% | 6050% | 6518% | 2205% | 248% | 1692% | 4524% | 932% | 675% | 134% | 2% |
| alt 2/alt 3 - zonder NaOH | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - voor 2024 | 89% | 98% | 109% | 93% | 97% | 92% | 96% | 80% | 163% | 186% | 109% | 97% | 111% | 93% | 97% | 109% | 89% | 0% |
| - voor 2028 | 75% | 104% | 137% | 88% | 101% | 85% | 98% | 58% | 306% | 330% | 135% | 99% | 149% | 89% | 99% | 122% | 75% | 0% |
| - voor 2033 | 70% | 97% | 191% | 123% | 139% | 103% | 136% | 36% | 841% | 727% | 365% | 85% | 278% | 461% | 149% | 133% | 68% | 0% |

Tabel 4-3. Uitsnede van relatieve bijdragen aan milieuthema's voor alternatief "Vast Zout", zichtjaar 2024

| | Global warming | Stratospheric ozone depletion | Ionizing radiation | Ozone formation, Human | Fine particulate matter | Ozone formation, Terrestrial | Terrestrial acidification | Freshwater eutrophication | Marine eutrophication | Terrestrial ecotoxicity | Freshwater ecotoxicity | Marine ecotoxicity | Human carcinogenic toxicity | Human non-carcinogenic toxicity | Land use | Mineral resource scarcity | Fossil resource scarcity | Water consumption | |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------|
| Waterconsumptie | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 110% |
| Stort restzout | 1% | 4% | 11% | 10% | 5% | 7% | 5% | 5% | 8% | 27% | 22% | 6% | 6% | 5% | 12% | 9% | 1% | -5% | |
| Ruimtegebruik (voor eindberging) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | |
| Mijnbouw hulpstoffen | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | |
| Bulkchemicaliën | 4% | 3% | 24% | 4% | 30% | 3% | 6% | 4% | 25% | 59% | 12% | 2% | 28% | 5% | 4% | 13% | 0% | -3% | |
| Energie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| elektriciteit | 40% | 28% | 32% | 60% | 34% | 52% | 47% | 87% | 49% | 9% | 48% | 23% | 37% | 85% | 51% | 36% | 33% | -1% | |
| stoom | 55% | 65% | 33% | 26% | 31% | 38% | 42% | 4% | 18% | 5% | 18% | 69% | 29% | 6% | 32% | 42% | 65% | -1% | |
| | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 99% | 100% | 100% | 100% | |

Tabel 4-4. Uitsnede van relatieve bijdragen aan milieuthema's voor alternatief "Indikken van de waterstroom en brijninjectie", zichtjaar 2024

| | Global warming | Stratospheric ozone depletion | Ionizing radiation | Ozone formation, Human | Fine particulate matter | Ozone formation, Terrestrial | Terrestrial acidification | Freshwater eutrophication | Marine eutrophication | Terrestrial ecotoxicity | Freshwater ecotoxicity | Marine ecotoxicity | Human carcinogenic toxicity | Human non-carcinogenic toxicity | Land use | Mineral resource scarcity | Fossil resource scarcity | Water consumption |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| Waterconsumptie | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| stort reststof | 0% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 1% | 0% | 4% | 3% | 2% | 1% | 1% | 2% | 1% | 1% | 2% |
| Ruimtegebruik (voor eindberging) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Mijnbouw hulpstoffen | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% |
| Bulkchemicaliën | 27% | 79% | 85% | 63% | 76% | 58% | 64% | 36% | 91% | 90% | 67% | 52% | 75% | 50% | 58% | 83% | 23% | 94% |
| Energie | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| elektriciteit | 73% | 21% | 14% | 35% | 23% | 41% | 35% | 60% | 8% | 6% | 30% | 46% | 25% | 50% | 40% | 14% | 77% | 4% |
| stoom | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Tabel 4-5. Uitsnede van relatieve bijdragen aan milieuthema's voor voorgenomen injectie, zichtjaar 2024

| | Global warming | Stratospheric ozone depletion | Ionizing radiation | Ozone formation, Human | Fine particulate matter | Ozone formation, Terrestrial | Terrestrial acidification | Freshwater eutrophication | Marine eutrophication | Terrestrial ecotoxicity | Freshwater ecotoxicity | Marine ecotoxicity | Human carcinogenic toxicity | Human non-carcinogenic toxicity | Land use | Mineral resource scarcity | Fossil resource scarcity | Water consumption |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| Waterconsumptie | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 99,8% |
| Ruimtegebruik (voor eindberging) | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Mijnbouw hulpstoffen | 0,3% | 1,1% | 4,2% | 1,4% | 2,2% | 1,1% | 1,4% | 15,1% | 5,8% | 6,2% | 1,7% | 0,7% | 1,5% | 0,5% | 2,1% | 27,8% | 0,4% | 0,0% |
| Bulkchemicaliën | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Energie | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| elektriciteit | 99,7% | 98,9% | 95,8% | 98,6% | 97,8% | 98,9% | 98,6% | 84,9% | 94,2% | 93,8% | 98,3% | 99,3% | 98,5% | 99,5% | 97,9% | 72,2% | 99,6% | 0,1% |
| stoom | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

5 Bronnen

<https://en.wikipedia.org/wiki/2-Butoxyethanol>

<https://nl.wikipedia.org/wiki/1-butanol>

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Etheenoxide>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tetrakis\(hydroxymethyl\)phosphonium_chloride](https://en.wikipedia.org/wiki/Tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium_chloride)

<https://www.sigmaaldrich.com/NL/en/product/aldrich/15175>

P.J. Zijlema, Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren, versie januari 2022 RVO, Utrecht, januari 2022 (Zijlema, 2022)

https://www.rvo.nl/files/file/2022-05/Nederlandse%20energiedragerlijst%20versie%20januari_2022_definitief.pdf

Bijlagen

Bijlage A Stoomproductie

In de LCA is uitgegaan van informatie uit de MKBA voor het schatten van de milieubelasting gerelateerd aan stoom die bij zoutproductie – in Alternatief 1 - wordt gebruikt.

Door NAM is in het kader van de MKBA aangegeven dat de in Alternatief 1 gebruikte stoom in eerste instantie volledig zal worden geproduceerd met de op het OBI-terrein opgestelde aardgasgestookte stoomketel. De ketel wordt gestookt met van het aardgasnet onttrokken aardgas en een kleiner volume aan met de aardolie mee geproduceerd 'secundair gas'. Dit meegeproduceerde gas bevat H₂S, dat bij verbranding van dit gas wordt omgezet in SO₂, dat naar de atmosfeer wordt uitgestoten. Vanwege aanwezigheid van SO₂ in de rookgassen wordt de schoorsteentemperatuur van de ketel hoog/hoger gehouden om zwavelzuurcondensatie en gerelateerde corrosie te vermijden. Het netto thermisch ketelrendement bedraagt volgens opgave door NAM circa 90%.

Naast SO₂ wordt ook NO_x geëmitteerd. De rookgasconcentratie van beide stoffen is volgens NAM gelijk aan de grenswaarde in de vergunning: 30 mg/Nm³ en 70 mg/Nm³ bij standaardcondities (3vol% O₂, droog rookgas). Voor andere luchtverontreinigende stoffen (zoals CO) zijn door NAM geen gegevens gedeeld of op internet (bijvoorbeeld bij Emissieregistratie) gevonden.

In het derde en vierde jaar na herstart van de olieproductie worden volgens NAM twee maatregelen operationeel waarmee de aan stoomproductie gerelateerde (directe) milieubelasting wordt gereduceerd:

- Voor ontzwaveling van secundair gas wordt in het derde jaar een Thiopaq ontzwavelingsinstallatie in gebruik genomen. Het secundaire gas wordt hiermee vrijwel volledig (> 99%) ontzwaveld. De daarbij afgevangen H₂S wordt omgezet in zwavelkoek, die als grondstof voor kunstmest kan worden gebruikt.
- Stoomproductie wordt vanaf het vierde jaar in toenemende mate in de tijd gebaseerd op productie met elektrodenketels, waarin stoom wordt geproduceerd met behulp van elektriciteit. NAM heeft volgens eigen opgave een "memorandum of understanding" getekend met een partij die windenergie exploiteert, met als doel een oplossing voor de onbalans op het elektriciteitsnet te bieden. Er is daarom in deze beknopte LCA aangenomen dat de voor stoomproductie geconsumeerde elektriciteit volledig klimaatneutraal en emissievrij is. Het concept voorziet in de installatie van tussen de 80 MW en 120 MW aan industriële elektrische ketels op de OBI. Deze ketels staan altijd op stand by (zo'n 3% van het vermogen) en kunnen vrijwel instantaan opschakelen naar 100% vermogen. Dit biedt de mogelijkheid om pieken in het elektriciteitsaanbod te absorberen.

Aardgasgebruik en emissies per GJ op de OBI geproduceerde stoom zijn samengevat in Tabel A-1.

Het is niet bekend of verder in de tijd eventueel nog maatregelen bij de gasgestookte ketels zullen worden geïmplementeerd om de milieubelasting verder te verminderen, bijvoorbeeld emissiereductie maatregelen om NO_x-emissies te verlagen of maatregelen om het ketelrendement te optimaliseren.

Tabel A-1 Milieugegevens voor stoom op OBI

| Jaar na start oliewinning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Emissies, g/GJ stoom | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO2 | 64.515 | 60.215 | 60.176 | 35.647 | 36.978 | 26.405 | 23.563 | 20.714 | 19.602 | 19.613 | 19.549 | 19.164 | 19.486 | 19.512 | 19.697 | 19.791 | 19.635 | 19.343 | 26.945 |
| NOx | 21,9 | 19,9 | 19,9 | 11,7 | 12,0 | 8,5 | 7,6 | 6,7 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,3 | 6,5 | 6,5 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,5 | 9,0 |
| SOx | 9,4 | 8,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Aandeel stoom uit elektriciteit | 0% | 0% | 0% | 40% | 38% | 56% | 72% | 76% | 77% | 77% | 77% | 78% | 77% | 77% | 77% | 76% | 76% | 77% | 55% |
| GJ aardgas/GJ stoom | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Thiopaq gegevens, g/GJ stoom | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - zwavelkoek productie | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 48,1 | 54,7 | 41,2 | 33,6 | 28,1 | 22,6 | 17,9 | 17,0 | 16,2 | 15,5 | 14,7 | 14,1 | 13,4 | 12,6 | 11,6 | 16,2 |
| - NaOH-consumptie | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4,8 | 5,5 | 4,1 | 3,4 | 2,8 | 2,3 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,6 |

Bijlage B Elektriciteit en milieubelasting

In de MKBA is door NAM het uitgangspunt gehanteerd dat elektriciteit gebruikt voor stoomproductie volledig klimaatneutraal en emissievrij is. Het uitgangspunt is gebaseerd op het gegeven dat NAM een “memorandum of understanding” getekend met een partij die windenergie exploiteert, met als doel om een oplossing voor de onbalans op het elektriciteitsnet te bieden. Dit uitgangspunt is in deze beknopte LCA overgenomen.

Zoals opgegeven door NAM zal vanaf het vierde jaar na herstart van de aardolieproductie in Schoonebeek tussen de 40% tot bijna 80% van de voor olieproductie benodigde stoom kunnen worden geproduceerd op basis van klimaatneutrale windenergie. Stoomproductie voor oliewinning vraagt – vergeleken met productiewater behandeling - een veelvoud aan elektriciteit. Het lijkt daarom logisch dat voor productiewater behandeling benodigde elektriciteit samen met elektriciteit voor stoomproductie wordt ingekocht, voor zover als deze beschikbaar kan worden gesteld door de windenergie exploitant.

Voor de resterende tijd zal voor productiewater behandeling de gemiddelde elektriciteitsmix vanaf het openbare net moeten worden ingekocht. In deze periode waait het blijkbaar minder of niet – anders was er wel windenergie geleverd. De bijdrage van zon-PV aan de totale elektriciteitsproductie in Nederland is volgens KEV, 2022²⁷ relatief bescheiden. Daarnaast is zon-PV aangesloten op lokale en regionale netten, waarop momenteel vaak sprake is van congestie. Bovendien is er regionaal blijkbaar grote weerstand tegen zonneparken. Het lijkt daarom minder logisch dat elektriciteit uit zon-PV in significante hoeveelheden beschikbaar is voor NAM in Schoonebeek.

Uitgaande van bovenstaande redenering lijkt het redelijk te veronderstellen dat door NAM in windloze perioden ingekochte stroom is geproduceerd op basis van fossiele energie²⁸. Conform overheidsbeleid zal dit tot 2030 een combinatie van steenkool (en biomassa) en aardgas zijn en zal er na 2030 alleen aardgas worden ingezet. Op basis van prognoses voor de brandstofmix in KEV, 2022 is verondersteld dat de brandstofmix voor de door NAM in te kopen gemiddelde mix tot 2030 voor 45% uit steenkool en 55% uit aardgas bestaat.

Voor het schatten van de milieubelasting per eenheid ingekochte grijze stroom gedurende de exploitatie is een aantal specifieke aardgasgestookte en steenkool gestookte energiecentrales beschouwd:

- Voor toekomstige elektriciteitsproductie in 2030 – 2040 zijn alleen de nieuwste aardgasgestookte energiecentrales beschouwd, gezien de technische en economische levensduur van dit soort centrales²⁹ .;
- Kolenstroom wordt geproduceerd bij vier specifieke eenheden³⁰.

De emissies van CO₂, NO_x, SO₂ en PM₁₀ per eenheid elektriciteit zijn geschat op basis van de volgende aannames:

²⁷ Op basis van “Tabellen Klimaat- en Energieverkenning 2022, Versie 1.0; november 2022”

²⁸ Bijdragen van kernenergie en biomassa aan de mix zijn ter vereenvoudiging en bij wijze van ‘worst case’ benadering vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

²⁹ Dit zijn de volgende tussen 2010 en 2012 gerealiseerde of ingrijpend gemoderniseerde eenden: Enecogen centrale, Centrale Moerdijk, Centrale Diemen 34 en Centrale Hemweg 9, Maascentrale, Sloe centrale, Maximacentrale, Clauscentrale (eenheid C). De Magnum elektriciteitscentrale is buiten beschouwing gelaten omdat deze centrale nauwelijks operationeel is en is aangekocht door RWE met het streven om de centrale in de toekomst te gebruiken voor elektriciteitsproductie op basis van waterstof.

³⁰ Dit zijn Uniper MPP3, Onyx Centrale Rotterdam en de Eemshaven Centrale eenheden A en B van RWE.

- Voor de beschouwde aardgasgestookte energiecentrales is uitgegaan van een netto elektrisch rendement van 58%. Voor de kolengestookte eenheden is uitgegaan van een netto elektrisch rendement van 46%.
- Voor de CO₂-emissies per eenheid aardgas en steenkool is aangesloten bij de “Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren”.
- Voor de geselecteerde eenheden zijn emissiecijfers uit LCP 5.2 gebruikt voor het schatten van NO_x, SO₂ en PM₁₀ per eenheid elektriciteit³¹.

De resulterende ontwikkeling van emissies per eenheid elektriciteit en het aandeel aan aardgas en steenkool in de gebruikte energiebronnen is gegeven in Tabel B-2.

Tabel B-2. Emissiefactoren voor elektriciteit tijdens windloze en windluwe perioden

| | Tot 2030 | Na 2030 |
|--------------------------------------|----------|---------|
| CO ₂ , kg/GJ _e | 148,7 | 97,4 |
| NO _x , g/GJ _e | 34,8 | 23,2 |
| SO ₂ , g/GJ _e | 9,5 | 0,00 |
| PM ₁₀ , g/GJ _e | 0,8 | 0,03 |

Voor verdisconteren van de milieubelasting gerelateerd aan winning, conditionering en transport van aardgas en steenkool zijn de volgende proceskaarten uit EcoInvent 3.8 database gebruikt:

- Hard coal {Europe, without Russia and Turkey}| market for hard coal | Cut-off, U
- Natural gas, high pressure {NL}| market for | Cut-off, U

De voor steenkool gebruikte proceskaart is niet conform de LCA-methodiek voorgeschreven in het LAP³².

³¹ Deze cijfers hebben betrekking op 2017 en eerdere jaren. Invloed van meestoken van houtpellets of andere soorten biomassa op de emissies van de kolengestookte eenheden is beperkt of niet aanwezig omdat in 2017 niet of nauwelijks biomassa werd meegestookt.

³² Dit moet ‘Electricity, hard coal, at power plant/NL’ worden

Bijlage C Bulkchemicaliën en mijnbouwhulpstoffen

In deze beknopte LCA is voor het verdisconteren van de aan de productie van de bij waterbehandeling geconsumeerde chemicaliën gebruik gemaakt van achtergronddata uit de Ecoinvent 3.8 database, zoals opgenomen in de SimaPro LCA software, versie 9.4.0.2. Emissies en andere vormen van milieubelasting per eenheid hulpstoffen zijn vertaald naar bijdragen aan milieuthema's met karakterisatiefactoren voor het Hierarchist (H) perspectief.

C.1 Bulkchemicaliën

De voor bulkchemicaliën gebruikte proceskaarten uit Ecoinvent 3.8 zijn:

- Aluminium sulfate³³, powder {RER}| market for aluminium sulfate, powder | Cut-off, U
- Chlorine dioxide {RER}| market for chlorine dioxide | Cut-off, U
- Citric acid {GLO}| market for | Cut-off, U
- Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}| market for | Cut-off, U
- Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | Cut-off, U
- Activated carbon, granular {GLO}| market for activated carbon, granular | Cut-off, U

Eventuele verschillen tussen de in de LCA aangehouden concentraties en de in de database aangehouden concentraties zijn verdisconteerd.

C.2 Mijnbouwhulpstoffen

Voor beide beschouwde mijnbouwhulpstoffen – biocide, emulsiebreker – zijn geen achtergrondgegevens te vinden in Ecoinvent. Voor beide stoffen is de specifieke bijdrage aan de beschouwde milieuthema's daarom geschat aan de hand van de bijdragen van de grondstoffen waaruit deze chemicaliën worden geproduceerd:

- Emulsiebreker:
2-Butoxyethanol wordt geproduceerd door reactie van 1-butanol met etheenoxide in molaire verhoudingen van 1 : 1³⁴.
- Biocide
Hydroxymethyl fosfoniumsulfaat wordt geproduceerd door reactie tussen fosfine (PH₃) en formaldehyde in molaire verhouding en in aanwezigheid van zwavelzuur in molverhouding 2 : 8 : 1.
 $2 \text{ PH}_3 + 8 \text{ H}_2\text{C}=\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow [\text{P}(\text{CH}_2\text{OH})_4]_2\text{SO}_4$

Voor het schatten van de milieubelasting zijn de volgende proceskaarten uit Ecoinvent 3.8 gebruikt:

- 1-butanol {GLO}| market for | Cut-off, U
- Fosfane {GLO}| market for | Cut-off, U
- Sulfuric acid {RER}| market for sulfuric acid | Cut-off, U
- Ethylene oxide {RER}| market for ethylene oxide | Cut-off, U

³³ Er is aangenomen dat de bij flotatie geconsumeerde coagulant aluminiumsulfaat betreft.

³⁴ Zie <https://nl.wikipedia.org/wiki/2-butoxyethanol>

Omdat geen informatie is gevonden over milieubelasting –zoals emissies en energiegebruik – tijdens synthese en eventuele nakomende processen voor isolatie en zuivering van het product is de schatting een onderschatting van de totale milieubelasting gerelateerd aan productie van deze stoffen.

Bijlage D Storten van vaste reststoffen

Gebruik van bedrijfsmiddelen en transporten gerelateerd aan de stort in big bags zijn berekend conform de methodiek uit de MER LAP. Er is uitgegaan van stort in een compartiment met een maximale hoogte van 15 meter. De bulkdichtheid van het te storten materiaal is gesteld op 1.200 kilo/m³. Het materiaal wordt gestort in big bags van 1,25 m³ inhoud en een specifiek gewicht van 2,5 kg, die voor stort worden afgedekt met een PE hoed van 0,9 kilo. De ruimte tussen de lagen big bags van 1 meter hoogte wordt opgevuld met een laag van circa 0,3 meter aan zand. Aangenomen is dat de stortplaats zich op 50 kilometer van het olieveld bevindt. Zand wordt over een transport afstand van 50 kilometer over de weg aangevoerd.

Voor het verdisconteren van de milieubelasting gerelateerd aan de bij storten gebruikte hulpstoffen zijn de volgende proceskaarten uit Ecolnvent 3.8 database gebruikt:

- Sand {CH}| market for sand | Cut-off, U
- Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U
- Packaging film, low density polyethylene {GLO}| market for | Cut-off, U
- Extrusion, co-extrusion {GLO}| market for | Cut-off, U
- 1 tonkm Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | Cut-off, U